

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Інженерно-фізичний факультет
Кафедра фізики металів**

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ Є.В. Іващенко

« ____ » _____ 20__ р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 132 Матеріалознавство
на тему: «Вплив легування оловом на структуру та механічні властивості
сплавів на основі Ti–12% Mo»**

Виконав:

студент II курсу, групи ФМ–81мп

Мурашко Андрій Миколайович _____

Керівник:

Доцент КФМ, к.т.н.

Демченко Л.Д. _____

Консультант з розроблення стартап–проекту:

Доцент, к.е.н.

Петренко К.В. _____

Консультант з охорони праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Професор, д.т.н.

Левченко О.Г. _____

Консультант з нормоконтролю:

Асистент

Шаповалова Н.А. _____

Рецензент:

доцент кафедри металознавства

та термічної обробки металів,

к.т.н., доцент

Бобіна М.М. _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інженерно–фізичний факультет
Кафедра фізики металів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо–професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 132 Матеріалознавство («Металофізичні процеси та їх комп’ютерне моделювання»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Є.В. Іващенко

« ____ » _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Мурашку Андрію Миколайовичу

1. Тема дисертації «Вплив легування оловом на структуру та механічні властивості сплавів на основі Ti–12% Mo», науковий керівник дисертації Демченко Леся Дмитрівна, доцент, к.т.н., затверджені наказом по університету від «12» листопада 2019 р. № 3890–с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об’єкт дослідження: сплави Ti12%Mo з різним вмістом Sn

4. Вихідні дані: літературні дані та результати особистих експериментів

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1. Дослідити Вплив легування оловом на структуру та механічні властивості сплавів на основі Ti–12% Mo 2. Зробити висновки на основі отриманих експериментальних даних.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: зображення мікроструктур, графіки, таблиці.

7. Орієнтовний перелік публікацій: тези:

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розроблення стартап–проекту	Петренко К.В, доцент		
Охорона праці за безпека в надзвичайних ситуаціях	Левченко О.Г., професор		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Видача завдання		
2	Проведення та написання літературного огляду		
3	Освоєння методик дослідження		
4	Виконання експериментальних досліджень		
5	Отримання результатів		
6	Написання висновків		
7	Оформлення роботи		
8	Оформлення презентації та написання доповіді		
9	Попередній захист		
10	Захист на засіданні ЕК		

Студент

Мурашко А.М.

Науковий керівник дисертації

Демченко Л.Д.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 87 сторінок, 22 рисунки, 16 таблиць, 63 літературних джерел

Ti–12% Mo, ФУНКЦІОНАЛЬНІ СПЛАВИ, МЕТАЛОГРАФІЯ, ТИТАН

Об'єкт дослідження – потрійні функціональні сплави Ti–Mo–Sn з різним вмістом олова.

Предмет дослідження – вплив легування оловом при постійній концентрації молібдену на рівні 12 % на структурні зміни і механічну поведінку потрійного титанового сплаву, отриманого комбінованим методом

Методи дослідження – рентгеноструктурний аналіз, мікроструктурний аналіз, оптична металографія.

Результати дослідження та їх новизна – встановлено, що висока пластичність з високою швидкістю деформаційного зміцнення, властива потрійним сплавам Ti–12 % Mo–xSn з концентрацією олова в діапазоні (1–8)% досягається завдяки одночасному протіканню процесів індукції мартенситу деформації з трансформацією ОЦК в орторомбічну ґратку і двійникування в полі одновісного розтягуючого напруження. Підвищення змісту олова понад 8 % викликає зміну механізму деформування, що приводить до крихкого руйнування в результаті дислокаційного ковзання

ABSTRACT

Master's Thesis: 87 pages, 22 drawings, 16 tables, 63 literary sources

Ti – 12% Mo, FUNCTIONAL ALLOYS, METALLOGRAPHY, TITANIUM

The object of study is triple functional Ti – Mo – Sn alloys with different tin content.

The subject of the study is the influence of tin doping at a constant molybdenum concentration of 12% on the structural changes and mechanical behavior of triple titanium alloys obtained by the combined method

Research methods - X-ray structural analysis, microstructural analysis, optical metallography.

The results of the study and their novelty - it is found that high plasticity with high rate of deformation hardening inherent in ternary Ti – 12% Mo – xSn alloys with a tin concentration in the range of (1–8) % is achieved due to simultaneous flow of deformation martensite induction with transformation of BCC into orthorhombic and twinning in the field of uniaxial tensile stress. Increasing the content of tin by more than 8 % causes a change in the deformation mechanism, which leads to brittle fracture as a result of dislocation sliding

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	12
1.1 Загальні характеристики титану	12
1.2 Сплави титану.....	13
1.3 Деформуємі сплави титану.....	18
1.4 Потрійні системи сплавів титану.....	21
1.5 TWIP та TRIP ефекти в сплавах Ti	23
1.6 Молібден як β - стабілізатор.....	26
1.7 Класифікація та напрямки застосування нових матеріалів на основі титану	26
1.8 Висновки до розділу 1.....	27
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ	28
2.1 Виготовлення сплавів та підготовка зразків для досліджень	28
2.1.1 Виготовлення Ti–12Mo–ySn% потрійних сплавів	30
2.1.2 Підготовка зразків для випробувань на розтяг	30
2.2 Механічні випробування на розтяг та термічна обробка	32
2.2.1 Випробування на розтяг	32
2.2.2 Термічна обробка	33
2.3 Методи дослідження мікроструктури	35
2.3.1 Виготовлення шліфів та оптична металографія.....	35
2.3.2 Скануюча електронна мікроскопія (SEM).....	35
2.3.3 Рентгеноструктурний аналіз	
2.4 Експериментальне визначення модулів пружності	37
2.5 Висновки до розділу 2.....	39

	7
3 РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ.....	40
3.1 Випробування на розтяг	40
3.2 Експериментальне визначення механічних властивостей	42
3.3 Рентгенографічний аналіз.....	44
3.5 Висновки до розділу 3	52
4 РОЗРОБКА СТАРТАП – ПРОЕКТУ	54
4.1 Актуальність	54
4.2 Опис ідеї проекту	54
4.3 Розрахунок собівартості проведення дослідження	55
4.3.1 Витрати на основні матеріали.....	56
4.3.2 Витрати на спеціальне обладнання та прилади	56
4.3.3 Зарплата виконавців по темі, основна та додаткова.....	56
4.3.4 Відрахування на соціальні заходи.....	58
4.3.5 Витрати на службові відрядження	58
4.3.6 Витрати на послуги сторонніх організацій	58
4.3.7 Інші прямі невраховані витрати	58
4.3.8 Накладні витрати	58
4.3.9 Планова кошторисна вартість дослідження	59
4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап–проекту.....	60
4.5 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	62
4.6 Розроблення маркетингової програми стартап–проекту.....	64
4.7 Формування системи збуту	64
4.8 Висновки до розділу 4.....	65
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	
5.1 Аналіз праці в приміщенні	66
5.2 Аналіз мікроклімату приміщення.....	67

	8
5.3 Аналіз освітленості приміщення.....	68
5.4 Вимоги до організації робочого місця.....	69
5.5 Аналіз шуму та вібрації	69
5.7 Електронбезпека	73
5.8.1 Пожежна безпека.....	75
5.9 Висновки до розділу 5.....	77
ВИСНОВКИ	78
CONCLUSION.....	80
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	82

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

TWIP – ЕФЕКТ ДВІЙНИКУВАННЯ

TRIP – ЕФЕКТ МАРТЕНСИТНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

ГЩП – ГЕКСАГОНАЛЬНА ЩІЛЬНОУПАКОВАНА ГРАТКА

ОЦК – ОБ'ЄМНОЦЕНТРОВАНА КУБІЧНА ГРАТКА

НДР – НАУКОВО–ДОСЛІДНА РОБОТА

ЗП – ЗАРОБІТНА ПЛАТА

ВСТУП

Розвиток промислового виробництва у всіх галузях науки і техніки вимагає підвищення якості існуючих і створення нових матеріалів з наперед заданими властивостями. Дивовижний світ різних матеріалів, як на Землі, в її надрах, так і в космічному просторі, дозволяє розширювати наші знання в цій галузі.

З даних історії розвитку людського суспільства, люди з найдавніших часів навчилися використовувати метали. Їм вдавалося знайти метали в природі або отримували їх з руди, створюючи різні сплави.

В даний час найбільш розвинене виробництво чорних металів і сплавів. У меншій мірі використовуються сплави, отримані з кольорових металів, а й їх виробництво постійно зростає. Крім того, вчені та практики створюють нові штучні матеріали, що володіють унікальними властивостями. Ці матеріали поєднують малу питому вагу, електричні, магнітні, хімічні властивості з підвищеними характеристиками міцності, тепло- і жаростійкості.

Сплави титану мають унікальною комбінацією високих показників міцності, малої щільності і високою корозійної стійкості, що робить їх дуже привабливими для різних областей застосування. Однак, відносно висока вартість цих матеріалів обмежує їх використання, головним чином, авіакосмічній промисловості і медицині. Основним напрямком розвитку титанової науки сьогодні є розширення області застосування титану шляхом розробок нових економічних технологій, що забезпечують значне зниження вартості як самого металу, так і виробів з нього в порівнянні з вже існуючими підходами. При дотриманні цієї умови, автомобільна промисловість є найбільш перспективною галуззю для широкомасштабного використання титанових сплавів в якості шатунів, клапанів, роликів та ін.

Титан і його сплави відносяться до числа тих металевих матеріалів, які почали виробляти і застосовувати в промислових масштабах після другої світової війни в зв'язку з розвитком нової техніки, перш за все авіаційної, космічної та ракетної. Це обумовлено унікальним комплексом їх властивостей: малу щільність, достатню міцність, незвично високу корозійну стійкість.

Подальший розвиток авіакосмічної техніки і транспортного машинобудування в значною мірою пов'язане з підвищенням експлуатаційних характеристик використовуваних конструкційних матеріалів. Це в повній мірі відноситься і до сплавів на основі титану, що обумовлює необхідність проведення дослідних робіт зі створення нових титанових сплавів з поліпшеним комплексом механічних властивостей, зокрема, підвищену міцність і висока зварюваністю.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Загальні характеристики титану

Чистий титан має досить високу температуру плавлення $1668\text{ }^{\circ}\text{C}$; його температура кипіння становить $3169\text{ }^{\circ}\text{C}$. При щільності 4505 г/см^3 при кімнатній температурі він займає проміжний простір між залізом і алюмінієм. Титан та титанові сплави мають надзвичайно високу корозійну стійкість, яка перевищує корозійну стійкість нержавіючих сталей за рахунок утворення на поверхні титану щільної оксидної плівки [1–3]. Титан та його сплави стійкі в усіх природних умовах: атмосфері, ґрунті, прісноводній та морській воді, навіть у теплому та вологому морському кліматі. У морській воді шар титану, рівний товщині аркуша паперу, би розчинився за 4000 років [1].

Титан високої чистоти має низьку міцність і високу пластичність ($\sigma_b \approx 40240\text{ МПа}$, $\delta \approx 60\%$, $\psi \approx 70\%$) [1–3]. Для отримання зазначених механічних властивостей його легують алюмінієм, ванадієм, марганцем, молібденом, хромом, залізом та деякими іншими елементами. На сьогодні розроблено кілька сотень експериментальних композицій та більше ста промислових сплавів різного призначення з різним рівнем механічних властивостей [1, 4]. Тимчасова міцність на розрив промислових титанових сплавів може варіюватися від 400 МПа для низьколегованих м'яких сплавів до 1500 МПа – 1600 МПа для високотвердих сплавів.

Титанові сплави здатні зберігати свої міцні властивості при відносно високих температурах. Найкращі жаростійкі титанові сплави можуть працювати при температурі $(600\text{--}650)\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однак деякі титанові сплави можуть бути використані для роботи при криогенних температурах аж до температури рідкого водню.

Порівняно низька щільність у поєднанні з досить високими характеристиками міцності забезпечує більш високий температурний діапазон, ніж алюмінієві сплави, сталі та жаростійкі нікелеві сплави. Цей факт є визначальним фактором для використання титану в аеронавігаційній та космічній техніці.

Однак титан та його сплави також можуть використовуватися в

найрізноманітніших галузях машинобудування [1, 2, 5–7]. З розвитком великого, оптимізованого виробництва воно стало більш доступним і економічно вигідним матеріалом. Згідно з місяцем бюлетеня Metall (липень 2003 р.) титан стає все більш "домашнім", оскільки його використовують для виготовлення ювелірних прикрас, деталі для автомобілів та велосипедів, спортивний інвентар, кухонне начиння, окуляри, шафи для годинника та парасольки тощо. Високі показники в поєднанні з сучасними технологічними та виробничими досягненнями відкривають великі можливості для його використання в автомобільній промисловості [5–11].

Судячи з кількості доповідей, представлених на міжнародних титанових конференціях (2003, 2007, 2011 рр.), Інтерес до титану як до автомобільного матеріалу особливо сильно зріс з 2000–х років. До 2007 року обсяг виробництва титанових клапанів, пружин, шатунів і частин витяжних систем був розрахований у мільйонах штук [6].

1.2 Сплави титану

Титан може бути в двох алотропічних модифікаціях: низькотемпературної (α), має гексагональну щільноупаковану ґратку (ГЦП), і високотемпературної (β) з об'ємноцентрованою кубічною ґраткою (ОЦК). Для отримання необхідних механічних та фізико–хімічних властивостей титан традиційно легують алюмінієм, молібденом, ванадієм, марганцем, хромом, оловом, залізом, цирконієм, ніобієм та кремнієм та іншими елементами. Легуючі елементи, а також домішки змінюють температуру поліморфної трансформації $\alpha \leftrightarrow \beta$ і, як наслідок, підвищують стабільність фази α або β . До елементів, стабілізуючого α –фазу титану, відносяться: α –стабілізатори, які зміцнюють титан, утворюючи твердий розчин з α –модифікацією титану (рис. 1.1). У свою чергу, стабілізатори β – це елементи, що знижують температуру перетворення $\beta \rightarrow \alpha$. До них належать молібден, хром, ванадій, ніобій, залізо, мідь та інші метали (з домішок – водень). Структуру титанових сплавів умовно поділяють на три групи: сплави зі структурою α –, ($\alpha +$

β)– і β –структурою, і при цьому в структурі кожної групи може бути присутні інтерметалідні фази [9].

Слід мати на увазі, що зміцнення титану шляхом легування приводить до зниження його пластичності [12], а збільшення кількості компонентів сплаву ускладнює перерозподіл легуючих елементів між фазами [13], що підвищує ймовірність переходу до бездифузійному механізму фазового перетворення і збільшує дисперсність фазових складових [14].

До високоміцних складнолегованих промислових сплавів титану відносяться сплави з межею міцності ≥ 1000 МПа. більшість з них представляють собою двофазні ($\alpha + \beta$) –сплави. Вони складаються з твердих розчинів α і β і містять, крім алюмінію, ряд β стабілізаторів, які можна розділити на три підгрупи. У сплавах титану з елементами першої підгрупи при досить низькій температурі відбувається евтектоїдний розпад β –фази ($\beta \rightarrow \alpha + \gamma$) (рис. 1.1). До числа таких елементів відносяться кремній, хром, марганець, залізо, кобальт, нікель, мідь і їх називають утворюють евтектику β –стабілізаторами. У титанових сплавах з елементами другої підгрупи при достатньо високій концентрації β розчин зберігається при кімнатній температурі, зазнаючи евтектоїдного розпаду при загартуванні (рис. 1.1). До таких елементів відносяться ванадій, молібден, ніобій, тантал і вольфрам. оскільки вони утворюють безперервні розчини з β –титаном, їх називають β –ізоморфними елементами [11].

У сплавах третьої підгрупи рівноважна β –фаза також стабілізується при кімнатній температурі, але безперервних β –твердих розчинів не утворюється (рис. 1.1), так як не дотримується принцип ізоморфності взаємодіючих елементів. Ця підгрупа включає реній, рутеній, родій, осмій, іридій. Їх можна назвати квазіморфними β –стабілізаторами.

Основна перевага сплавів ($\alpha + \beta$) полягає в тому, що високий рівень їх службових і експлуатаційних характеристик досягається за рахунок спільного впливу як легування, так і термічної обробки.

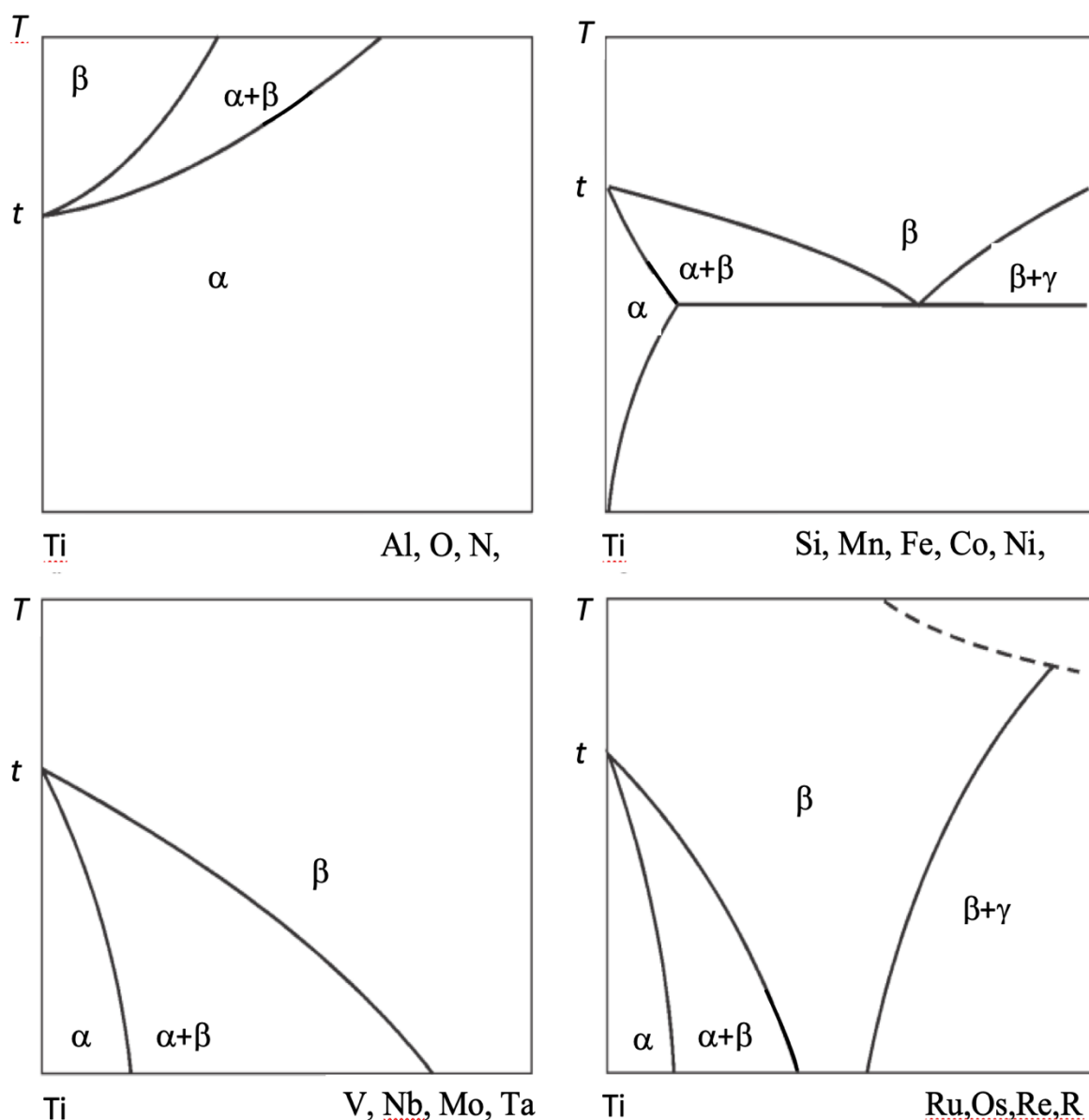


Рисунок 1.1 – Вплив легуючих елементів на поліморфне перетворення титану [15]

Їх зміцнення за допомогою термічної обробки полягає в фіксації загартуванням метастабільних фаз і подальшого їх розпаду при штучному старінні з виділенням дисперсних α і β – фаз. Ефективність зміцнення сплаву залежить від типу, кількості і складу метастабільних фаз і дисперсності, що утворюються після старіння α і β – фаз.

В даний час у світі існує послідовна тенденція до збільшення частки високоміцних титанових матеріалів, зварні з'єднання яких мають комплекс високих механічних та експлуатаційних властивостей. Однак не існує титанових сплавів з опором ≥ 1200 МПа у відпаленому стані, які мають задовільну пластичність та

високу зварюваність. Створення нового високоміцного титанового сплаву ($\alpha + \beta$) з межею міцності > 1200 МПа, з задовільною пластичністю та високою зварюваністю значно розширить спектр відповідальних компонентів у військовій, авіаційній, космічній та інших галузях промисловості [14].

Найперспективніший напрямок підвищення конструкційної міцності при розробці високоміцних складнолегованих титанових сплавів є комплексне легування, які беруться за основу для розробки нових сплавів [16]. При комплексному легуванні зміцнюють тверді розчини α і β так, щоб різниця в характеристиках їх стійкості була мінімальною. Це дає змогу зменшити неоднорідну деформацію та більш повну реалізацію міцності $\alpha - \beta$ фаз, а також зменшенню дій гострих пластинчастих структурних елементів як концентраторів напруження [17]. Слід зазначити, що коефіцієнт розподіляється в титані ізоморфного β -стабілізуючого елемента – молібдену більше одиниці, ванадію близький до одиниці, тоді як коефіцієнт розподілу евтектоїдоутворюючих легуючих елементів – хрому і заліза менше одиниці.

При гартуванні з гомогенної β -області в титанових сплавах утворюються нестабільні проміжні стани. Відповідно до класифікації Ю.А. Багаряцького та інших в титанових сплавах відбуваються такі метастабільні фази: α' , α'' , ω , β [18]. α' – фаза утворюється в результаті мартенситного перетворення у всіх сплавах, які мають невелику кількість легуючих елементів, і має таку саму, як у α -титана, гексаганальну ґратку [19]. При наявності в структурі сплаву α - та α' - фаз рентгенографічно розрізнити їх майже неможливо. Досить складно через розмиття і нечіткості інтерференційних ліній, обумовлених наявністю напружень в кристалічній ґратці, вивчають з достатньою точністю зміни параметра ґратки при пересиченні легуючими елементами. Встановлено, що зміна параметра ґратки залежить від атомного радіуса легуючого елемента і підпорядковується правилу Вегарда.

Згідно [20], α'' – фаза має ромбічну кристалічну ґратку. При утворенні мартенситу α'' на рентгенограмах спостерігається роздвоєння деяких інтерференційних ліній, які збільшуються зі зростанням концентрації легуючого

елемента. α'' фаза утворюється в сплавах з перехідними елементами, атомні радіуси яких близькі до атомного радіуса титану, а на кривих пружних властивостей на ділянках мартенситних перетворень носять непереривний характер розподілу. Пониження твердості, при цьому, пов'язують із зменшенням сил зчеплення та появою залишкової β - фази [21].

Наявність ромбічної мартенситної структури виявлено в різних бінарних системах титану з молібденом, ванадієм, вольфрамом, ніобієм, танталом, ренієм, тобто з елементами, які мають атомні радіуси подібні до атомного радіуса титану [22]. З аналізу Ф.П. Локшина, випливає, що формування α'' - фази в бінарних системах можливо з тими елементами, які мають відношення атомного радіуса титана та легуючого елемента менше 1,07, і відсутнє в системах титану з тими елементами, для яких це відношення більше 1,07 (табл. 1.1). В деяких промислових сплавах при гартуванні з відповідних температур також фіксується мартенситна α'' - фаза [23].

В роботі показано, що в загартованих сплавах метастабільна гомогенна – фаза фіксується в тому випадку, коли електронна концентрація складає (4,18–4,21) е/а, (табл. 1.2) .

Зміцнення їх за допомогою термічної обробки полягає в фіксації загартуванням метастабільних фаз і подальшому їх розпаді при штучному старінні з виділенням дисперсних α і β – фаз. Ефективність зміцнення сплаву залежить від типу, кількості і складу метастабільних фаз і дисперсності які утворилися після старіння частинок α і β –фаз.

Таблиця 1.1 – Відношення атомних радіусів титану і легуючих елементів і подвійних системах, в яких формується та не формується мартенсит α'' [15]

Сплави, в яких утворюється мартенсит α''			Сплави, в яких не утворюється мартенсит α''		
елемент	атомний радіус, Å	R_{Ti}/R_x	елемент	атомний радіус, Å	R_{Ti}/R_x
Nb	1,47	0,99	V	1,36	1,07
Ta	1,46	0,995	Mn	1,30	1,11
W	1,41	1,03	Cr	1,28	1,13
Mo	1,40	1,04	Fe	1,27	1,14
Re	1,37	1,06	Co	1,20	1,15

Таблиця 1.2 – Критична концентрація β - фази при кімнатній температурі [23]

Легуючі елементи	Критична стабілізуюча концентрація		Легуючі елементи	Критична стабілізуюча концентрація	
	ат %	ел/ат		ат %	ел/ат
залізо	4,5–4,9	4,2	хром	8,8	4,2
кобальт	4,9	4,2	вольфрам	8,7	4,2
марганець	5,0	4,2	ванадій	18,4	4,2
нікель	5,8–6,3	4,2–4,3	тантал	21,0	4,2
молібден	5,8	4,1	ніобій	21,0	4,2
реній	6,0	4,2			

1.3 Деформуємі сплави титану

Легування титану дозволяє у 2–3 рази підвищити його міцність, та іноді його корозійну стійкість. Основний легуючий елемент в промислових титанових сплавах це – алюміній. Інші важливі легуючі добавки це ванадій та молібден. Високоміцні титанові сплави утворюються в потрійній системі Ti–Al–V, а жароміцні – на Ti–Al–Mo. Найбільш поширений сплав загального призначення, який містить 6 % Al і 4 % V (сплав 6–4), зіграв у розвитку титанової промисловості більшу роль, ніж дуралюмін в металургії алюмінію. Відповідно з тенденцією багатокомпонентного легування більшість сучасних титанових сплавів містять одночасно алюміній, ванадій та молібден.

У промислових титанових сплавах в якості легуючих компонентів застосовуються також хром, марганець, залізо, мідь, олово, цирконій, вольфрам, рідше – ніобій і тантал, в деяких композиціях сплавів – галій, сурма, вісмут, але широкого промислового застосування такі сплави поки що не знайшли. Міцність технічного титану різних марок визначається саме за вмістом домішок кисню та інших домішок. У промислових умовах вміст домішок у вихідному титані розраховується за їх сумарною дією на тимчасовий опір розриву, який дозволяє позбутися хімічного аналізу на кожен домішку та пов'язаних з цим помилок через нерівномірний розподіл їх в титановій губці.

Існують три групи легуючих елементів, які чинять різний вплив на температуру поліморфного перетворення титану.

Перша група (α -стабілізатори) це – елементи, які підвищують температуру поліморфного перетворення титану. Це алюміній, галій, індій та неметали – вуглець, азот і кисень [21].

Друга група (β -стабілізатори) – елементи, які знижують температуру поліморфного перетворення титану. Їх можна розбити на три підгрупи. У сплавах титану з елементами першої підгрупи при досить низькій температурі відбувається евтектоїдний розпад β -фази: $\beta \rightarrow \alpha + \gamma$. До таких елементів відносяться: хром, марганець, мідь, нікель, свинець, берилій та кобальт, які називаються евтектоїдоутворюючими β -стабілізаторами. У сплавах титану з елементами другої підгрупи за високої концентрації β -твердий розчин зберігається при кімнатній температурі, зазнаючи евтектоїдного розпаду. Такі елементи називають ізоморфними β -стабілізаторами. Це ванадій, молібден, ніобій, тантал. Елементи третьої підгрупи (рутений, родій, реній, осмій, іридій) утворюють з титаном, в багатій титаном області, діаграму стану таку саму, як з ізоморфними β -стабілізаторами. При досить великому вмісті цих елементів β -фаза повністю стабілізується при кімнатній температурі та лише в області, відносно бідний титаном, з'являються нові фази та пов'язані з ними нонваріантні рівноваги [26].

Це спостерігається в сплавах з β -ізоморфними стабілізаторами (ванадієм, молібденом, танталом, ніобієм). Третя група представлена легуючими елементами,

мало впливає на температуру поліморфного перетворення титану. До числа таких елементів відноситься: олово, цирконій, германій, гафній і торій, які називаються нейтральними зміцнювачами. Легуючі елементи та домішки в титані можна також поділити на елементи заміщення та впровадження. Підсумкову класифікацію легуючих елементів та домішок в титані можна представити схемою, приведеною на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Класифікація легуючих елементів і домішок в титані [13]

Основою титанових сплавів є тверді розчини на основі двох поліморфних модифікацій титану – α і β , які утворюють різноманітні мікроструктури. З використанням цих стабілізаторів є можливість отримати титанові сплави трьох основних типів – α , β і $(\alpha + \beta)$, кожен з яких має свої характерні властивості (табл. 1.2). Крім того, існують сплави типу $\alpha + x$, де x – фаза складається із з'єднань типу TiAl, TiFe, TiMn, TiCr, TiC. У структурі сплавів можуть бути присутні карбіди, гідриди та інші металідні фази, наприклад: силіциди, які зустрічаються зазвичай в порівняно малих кількостях [17].

Розчинність молібдену в α -титані не перевищує 1%, β -стабілізуючий ефект є максимальним. Для фіксації суцільної β -структури загартуванням досить 11 % Мо. Додавання молібдену значно підвищує міцність сплавів при кімнатній температурі та високих температурах, а також підвищує термічну стабільність сплавів, які містять хром та залізо. Міцність сплавів титану з молібденом може бути значно підвищена загартуванням та старінням. Молібден – один з основних компонентів більшості титанових сплавів. Недолік молібдену це – висока температура плавлення, що затрудняє отримання гомогенних сплавів з титаном, а також його висока щільність. Однак в промислових титанових сплавах присутній легкоплавкий алюміній, тому можливо вводити молібден через легування з алюмінієм.

1.4 Потрійні системи сплавів титану

До основних промислових титанових сплавів загального призначення належить потрійна система Ti–Al–V. Прикладом таких сплавів є сплав Ti–6% Al–4% V (в Росії – сплав марки ВТ6). Наступною за важливістю є система Ti–Al–Mo, на якій базується багато титанових сплавів, особливо жароміцні сплави ВТ8 і ВТ9.

Олово досить слабо впливає на температуру поліморфного перетворення титану та відноситься до категорії нейтральних зміцнювачів. Розчинність олова в α -титані – 20 %. При звичайній температурі воно є досить слабким зміцнювачем, але суттєво підвищує жароміцність. Саме тому олово додають до жароміцних титанових сплавів в кількості (1–6) % та в окремих випадках – до 13 %. При легуванні титану оловом при кімнатній температурі його пластичність майже не знижується, однак жароміцність підвищується. Олово підвищує технологічну пластичність подвійних сплавів Ti–Al. Наприклад досить відомий листовий α -сплав, який містить 5 % Al і 2,5 % Sn [28].

В останні роки у провідних матеріалознавчих центрах США, Китаю, Росії та Японії була створена серія нових титанових сплавів з підвищеними експлуатаційними властивостями. Наприклад, США створило високоміцний титановий сплав Ti–575 (Ti–5Al–7V), Росія (ВІАМ) – новий конструкційний сплав

BT43 (Ti–Al–Mo–V–Cr–Fe–Nb–Zr–Cu) та жароміцний сплав BT41 (Ti–Al–Sn–Zr–Mo–Si), а спеціалісти ВСМПО розробили та розпочали виробництво нового β -сплаву 55531 (Ti–5Al–5Mo–5V–3Cr–1Zr) який має рівень міцності 1100 МПа. Експлуатаційні властивості цих сплавів перевищують характеристики своїх аналогів на 10-30 %. В ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України розроблено вітчизняний сплав на основі титану – новий високоміцний конструкційний сплав T110 системи легування Ti–Al–Mo–Nb–Fe–Zr, який у відпаленому стані має міцність ≥ 1100 МПа при високих показниках пластичності $\delta \geq 18$, $\psi \geq 50$ %; KCV ≥ 40 Дж/см² та має високу зварюваність.

З огляду на розподіл легуючих елементів формула 1.1, а також умови запобігання евтектоїдному розпаду, рекомендується здійснювати легування при співвідношенні кількості ізоморфних і евтектоїдоутворюючих легуючих елементів, виражених у величинах, еквівалентних вмісту молібдену. За умови зростаючого впливу на поліпшення механічних властивостей сплавів та їх зварних з'єднань β -стабілізуючі елементи можна розташувати у наступній послідовності: Cr, Fe, Cr + Fe, Mn, V + Fe, Mo, Mo + Fe, Mo + V, Mo + Cr, Mo + V + Cr + Fe [26–29].

Для розрахунку міцності нового сплаву використовують формулу [30]:

$$\sigma_B = 235 + 60 [Al]_{\text{екв.}} + 50 [Mo]_{\text{екв.}} \quad (1.1)$$

де $[Al]_{\text{екв.}} = \% Al + \% Sn / 2 + \% Zr / 3 + 3,8$ – еквівалентна концентрація

α -стабілізаторів і нейтральних зміцнювачів по відношенню до алюмінію;
 $[Mo]_{\text{екв.}} = \% Mo + \% V / 1,7 + \% Cr / 0,8 + \% Fe / 0,7 + \% Nb / 3,3$ – еквівалентна концентрація β -стабілізаторів по відношенню до молібдену.

Дана формула дає значення наближене до реальної міцності більшості α - і ($\alpha+\beta$) – титанових сплавів у відпаленому стані. Вибір системи легуючих елементів проводили з урахуванням наступних чинників.

Алюміній є основним легуючим елементом в титанових сплавах, який значно зміцнює α -твердий розчин і також ефективно зміцнює β -твердий розчин. Легування цим елементом надає титановим сплавам підвищений опір повзучості.

При цьому додавання до 3 % алюмінію практично не змінює мікроструктуру металу, а збільшення вмісту його у сплаві призводить до утворення крупногочаткої структури та, відповідно, до зниження пластичності. Показники поперечного звуження та подовження сплавів, які містять до 7 % алюмінію, залишаються на досить високому рівні [26]. Перевищення цього рівня призводить до втрати термічної стабільності сплавів, а також негативно впливає на пластичні властивості, у результаті утворення інтерметалідних фаз. Алюміній так само підвищує модулі пружності титану та разом із нейтральними зміцнювачами сповільнює утворення ω -фази при загартуванні та старінні. Цирконій виконує функцію мікролегуєчого елемента. Він не змінює механічні властивості фазових складових, але впливає на їх морфологію, особливо поліпшує стан металу, який підпадає під вплив термічного циклу зварювання. Властивості основного металу і зварних з'єднань, що містять цирконій, близькі за значеннями один до одного. Як і алюміній, цирконій уповільнює утворення ω -фази при загартуванні та старінні. Крім цього цирконій, як нейтральний зміцнювач, зменшує негативний вплив газових домішок (кисню), а також сприяє утворенню більш дрібнозернистої структури. Цирконій має коефіцієнт розподілу між α - і β -фазами рівний 0,81. Доцільно вводити цирконій в сплав у кількості, що не перевищує 3,0 мас. %.

Ванадій – зміцнювач, що відноситься до β -стабілізуючих елементів та має вузький інтервал кристалізації [14].

1.5 TWIP та TRIP ефекти в сплавах Ti

Метастабільні β титанові сплави, пластичність обумовлена двійникуванням (TWIP), так і мартенситним перетворенням (TRIP) зазвичай демонструють низьку границю плинності між 200 МПа і 500 МПа, але високу швидкість деформаційного зміцнення, тверде та велике рівномірне видовження. Сплави, що демонструють двійникування в одній системі, забезпечують більш високу границю плинності, але меншу швидкість деформаційного зміцнення. Вперше повідомляється про новий сплав (Ti–7Mo–3Cr мас.%), який має високу міцність 695 МПа та високу швидкість зміцнення 1900 МПа та значне 33,3 % рівномірне подовження. Механізми

деформації систематично досліджували за допомогою дифракція зворотного розсіювання електронів та трансмісійна електронна мікроскопія для зразків, напружених до 1,3 %, 5 % та 16 %. Висока границя плинності була досягнута завдяки початковій стадії деформації двох двійникових систем, а саме: $\{332\} \langle 113 \rangle$ і $\{112\} \langle 111 \rangle$ двійниками. Важливо, що мартенситне перетворення було зупинене на цій стадії деформації. Поєднання двох двійникових систем, приблизно однакової інтенсивності, призвело до високої швидкості деформаційного зміцнення 1600 МПа–1900 МПа, значно більша порівняно зі сплавами, які демонструють єдину спарену систему. Більше того, ефект TRIP спостерігався у сплавах більше 5 %, що також сприяло великій швидкості твердіння деформаційного зміцнення, великому рівномірному подовженню.

Метастабільні β титанові сплави потенційно привабливі для застосувань, включаючи їх поєднанню високої міцності, пластичності, щільності близько 4,5 г / см³, високої стійкості до корозії, низького модуля пружності та низької біотоксичності [32–38]. Останнім часом було спрямовано значні зусилля на розробку нових метастабільних β титанових сплавів завдяки їх здатності проявляти велике рівномірне подовження та високу швидкість деформаційного зміцнення. Повідомлялося, що зі збільшенням хімічної стійкості β фази механізми деформації метастабільних β титанових сплавів змінюються від мартенситного перетворення до механічного двійникування та, зрештою, ковзання дислокації [12,13]. Вважається, що хімічна стійкість β -фази пов'язана зі значеннями двох електронних параметрів: W_0 (міцність ковалентного зв'язку між Ti та легуючими елементами) та M_d (середній рівень енергії d-орбіти) [32,34,35]. На основі карти W_0 – M_d , спочатку запропонованої Kuroda та ін. [15] та пізніше Abdel-Hady et al. [28,35] для суперпластичних титанових сплавів було розроблено кілька метастабільних β титанових сплавів (включаючи Ti–12Mo [33] і Ti–9Mo–6W [36] (надалі всі композиції мають масовий%)) з TRIP та TWIP в початковій стадії деформації.

Вони пропонують максимальну швидкість деформаційного зміцнення до 2000 МПа, але низьку межу плинності, як правило, нижче 500 МПа. Sun та ін. [39] вивчали механізми деформації на сплаві Ti–12 %Mo на ранній стадії, виявивши, що

фазове перетворення, спричинене деформацією / напруженням (β в орторомбічне) та первинне двійникування, такі як $\{332\} \langle 113 \rangle$ і $\{112\} \langle 111 \rangle$, були активовані одночасно. Вони вважали, що $\{332\} \langle 113 \rangle$ двійники та подальше вторинне двійникування домінують на ранніх стадіях процесу деформації. Останнім часом Yao та ін. [37] досліджували пластичну деформацію Ti-24Nb-4Zr-8Sn, і їх результати показали, що індукована напруженням мартенситне перетворення β до α спочатку відбулася із силою пружності ~ 200 МПа, спричиняючи плато напруження (псевдопружність); згодом відбулося двійникування $\{112\}$. Sun та ін. повідомили, що низькотемпературне старіння при 423 К протягом 60-х років може ефективно підвищити в'язкість сплаву Ti-12Mo з 480 МПа до 730 МПа та уникнути плато напруження, що спостерігається на початку пластичної деформації в обробленому розчином сплаві Ti-12Mo [38].

Очевидно, що мартенситне перетворення, спричинене напруженням, призводить до псевдопластичності, а отже, низької міцності та обмеженого робочого загартовування, як це спостерігається у Ti-10V-3Fe-3Al [19] та Ti-Nb сплавах [4, 20]. У метастабільних β титанових сплавах система часто спостерігається як $\{332\}$, на відміну від $\{112\}$ системи, що спостерігається у більш сильно стабілізованих β сплавах [33, [31], [32], [36]]. Механічні властивості цього нещодавно запропонованого сплаву Ti-73 вивчалися в напруженні, а механізми деформації систематично вивчалися дифракція зворотного розсіювання електронів та трансмісійна електронна мікроскопія. Проведено кількісну оцінку ефекту деформаційного зміцнення $\{112\} \langle 111 \rangle$ та $\{332\} \langle 113 \rangle$ двійникуванням. Було досліджено кілька нових деформованих мікроструктур, таких як утворення паралельних двійників високої щільності $\{112\} \langle 111 \rangle$ та взаємодія двох наборів паралелей високої щільності $\{112\} \langle 111 \rangle$ двійників. Таким чином, ретельним підбором хімічного складу ми успішно сконструювали новий сплав з високою пластичністю 710 МПа, високою швидкістю деформації ~ 1900 МПа та 32% рівномірним подовженням, що успішно вирішило недолік низької в'язкості β титану сплав з ефектом TRIP та / або TWIP та поганим деформаційним твердінням метастабільних β титанових сплавів TWIP [40].

1.6 Молибден як β – стабілізатор

До цієї групи відносяться сплави, в структурі яких переважає твердий розчин на основі β –модифікації титану. Основними легуючими елементами є β –стабілізатор, а саме Мо.

Завдяки кубічній решітці β –сплави легше, ніж α – і $(\alpha + \beta)$ –сплави, піддаються холодній деформації, добре зміцнюються при термообробці, що полягає в загартуванні і старінні, і задовільно зварюються; вони мають досить високу жароміцність, однак при легуванні їх тільки β –стабілізаторами жаростійкість з підвищенням температури вище 400 °С помітно знижується. Опір повзучості і термічна стабільність сплавів цього типу нижче, ніж у сплавів на основі α –твердого розчину.

Основні β –сплави розташовані в порядку зниження стабільності β –фази відповідно до їх молибденовій еквівалентності. Якщо значення еквівалентності перевищує 30 %, то матеріал розглядається як стійкий β –сплав, хоча деяку кількість α –фази в ньому присутня. Після старіння міцність β –сплавів може досягати 1700 МПа (в залежності від марки сплаву і типу напівфабрикату). Незважаючи на сприятливе поєднання міцності і пластичних характеристик, β –сплави мають обмежену сферу застосування внаслідок високої вартості і складності виробничого процесу, а також необхідність суворого дотримання технологічних параметрів.

Спектр застосування β –сплавів все ж досить широкий – від дисків авіаційних двигунів до різних протезів медичного призначення. В умовах промислового виробництва можливо прогнозувати властивості по мікроструктурі великогабаритних штамповок. Однак внаслідок складності її можуть виникати труднощі в ході УЗ–контролю.

1.7 Класифікація та напрямки застосування нових матеріалів на основі титану

Серед нових типів сплавів на основі титану необхідно відзначити сплави із запам'ятовуванням форми (сплави пам'яті), надпровідники з підвищеною

корозійною стійкістю, біосумісні матеріали, акумулятори водню, високожароміцні сплави (рис. 1.3).

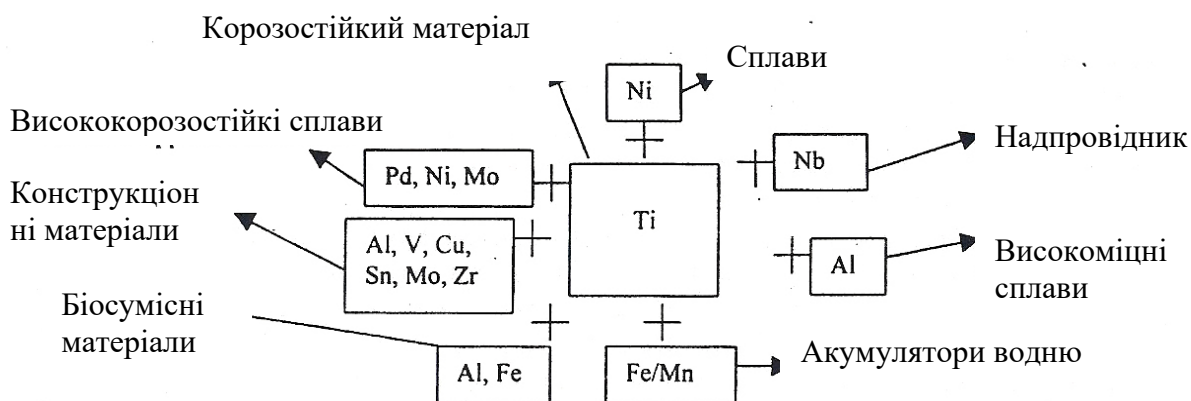


Рисунок 1.3 – Основні типи титанових сплавів і області їх застосування [21]

1.8 Висновки до розділу 1

1) вивчено літературні дані за темою магістерської дисертації та доведено актуальність теми роботи;

2) аналіз літературних джерел свідчить про те, що сплави на основі титану з додаванням молібдену і олова є актуальним завданням сучасного матеріалознавства.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

У цьому розділі представлені експериментальні методики, які використовувались для виготовлення сплавів, їх термічної та механічної обробки, а також для їх дослідження. Як показано на рис. 2.1, після виплавки сплаву на основі Ti–Mo–Sn застосовувалась наступна його термомеханічна обробка: гомогенізуючий відпал та холодна прокатка. В подальшому термообробку застосовують до холоднокатаних зразків. До випробувальних зразків були застосовані різні термомеханічні обробки з метою поліпшення механічних властивостей сплавів. Термооброблені зразки випробувалися на розтяг. Пояснення механічної поведінки термомеханічнооброблених сплавів Ti–Mo–Sn проводилося з позицій розгляду фазових перетворень та зміни кристалічної структури досліджуваних зразків внаслідок їх термомеханічної обробки.

В якості матеріалу для дослідження обрано сплави Ti–12%Mo–xSn, де x=1%, 2 %, 3 %, 4 %, 6 %, 8 %, саме тому, що легуванням Mo в кількості від 10 % до 14 % сприяє утворенню β -фази, яка має високу пластичність, а Sn виступає нейтральним елементом, основна функція якого підвищити пластичність, а також зберегти досить високий рівень міцності.

2.1 Виготовлення сплавів та підготовка зразків для досліджень

В ході виконання роботи виконувалася певна послідовність. Ця послідовність описана нижче та проілюстрована у вигляді схеми (рис. 2.1)

1. Підготовка шихти
2. Виплавка сплавів
3. Гомогенізація
4. Механічна деформація – прокатка
5. Відпал і загартування
6. Випробування
7. Дослідження
8. Аналіз



Рисунок 2.1 – Схема послідовності виготовлення зразків досліджуваних сплавів, їх термомеханічної обробки та наступного дослідження

2.1.1 Виготовлення Ti–12Mo–ySn% потрібних сплавів

Під час виготовлення потрібних сплавів Ti–Mo–Sn використовували два різні способи. Перший спосіб: в якості вихідних матеріалів брали чисті метали, зважували та розплавляли їх. Другий спосіб: вибирали Ti–12%Mo в якості базового сплаву, обчислювали необхідну кількість чистого титану, молібдену та олова для кожного складу сплаву, потім розплавляли сплав Ti–12%Mo з додаванням потрібної кількості чистих елементів Ti, Mo, Sn. Подрібнені шматочки матеріалу Ti–12%Mo та шматочки титану, молібдену або олова з високою чистотою повністю змішували відповідно до розробленого складу сплаву. Суміші вихідних матеріалів були розплавлені вольфрамовим електродом, що створює дугу в аргоновому середовищі. Завдяки системі охолодження дугоплавильної печі зливки сплаву були розплавлені не менше п'яти разів. Під час процесу плавлення нижня сторона зливки, яка контактує з охолоджуваною водою мідною основою, не плавиться добре. Тому зливки щоразу перевертали перед плавленням. Після плавлення зливки гомогенізували при 900 °C протягом 2 годин у високому вакуумі 10^{-6} Па, використовуючи лабораторний саморобний прилад [18].

Зливки Ti–xMo–ySn мас.% ($X = 10, 12, 14$ і $y = 0, 1, 2, 3, 4, 6, 8$) виплавляли вакуумною дугоплавною піччю (Mini Arc Melting System MAM–1), який складається з чотирьох основних частин:

- вакуумна камера з темним оглядовим захисним склом для спостереження;
- електрод з вольфраму;
- основна плита з водяним охолодженням;
- робоча ручка.

Кожний зливочок становив приблизно 20 г.

2.1.2 Підготовка зразків для випробувань на розтяг

Основна процедура підготовки зразків до механічних випробувань на розтяг – це виготовлення тонких пластин. Для цього застосовують процес холодної прокатки. Холодну прокатку застосовували після загартування зразків у воду після

попередньої гомогенізації. Фото машини для холодної прокатки показано на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 – Фотографія машини для холодної прокатки [27]

Основним параметром під час прокатки є ступінь пластичної деформації (R). Ступінь пластичної деформації R розрахована за формулою 2.1

Отриманий після холодної прокатки зразок (в результаті зменшення товщини), розраховувався із співвідношенням:

$$R = (H_i - H_f) / H_i \cdot 100\% \quad (2.1)$$

де H_i – початкова товщина зливка

H_f – кінцева товщина зливка

Завдяки гарній оброблюваності (високій пластичності) метастабільних β -титанових сплавів процес холодної прокатки може бути завершений за короткий

час [31–33]. До прокатки товщина злитків складала (5–20) мм, в результаті прокатки кінцева товщина зменшується на (90–99) % [38].

2.2 Механічні випробування на розтяг та термічна обробка

2.2.1 Випробування на розтяг

Для оцінки механічної поведінки отриманих сплавів проводили випробування на одновісний розтяг та циклічне навантаження за допомогою машини INSTRON 5966 при постійній швидкості деформації 10^{-3}s^{-1} при кімнатній температурі. На рис. 2.3 наведено фото установки для випробування на розтяг. Для точного вимірювання деформації зразків використовували екстензометр. Кожне з випробувань на розтяг проводилося у напрямку прокатки.

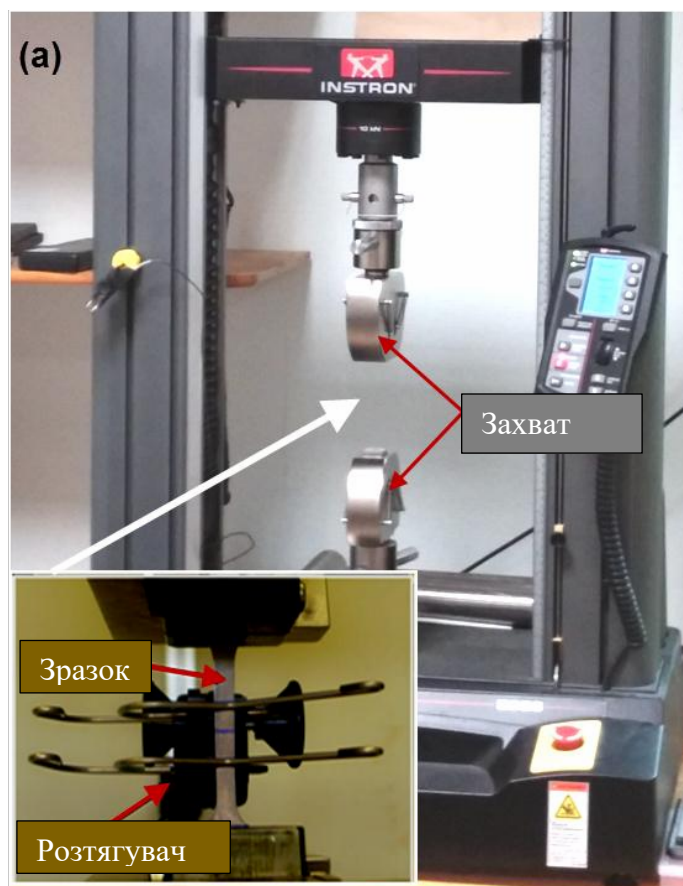


Рисунок 2.3 – Установка INSTRON 5966 для випробування на розтяг [36]

2.2.2 Термічна обробка

При високій температурі титан може легко об'єднуватися з киснем повітря. В результаті цього процесу на зразках може з'явитися шар оксидів. Оксидний шар може в основному впливати на механічні властивості сплавів на основі титану. Для запобігання подібних проблем потрібно проводити термічну обробку у вакуумі чи захисній атмосфері. На рис. 2.4 показана схема вакуумної лабораторної печі із системою загартування, що складається з чотирьох основних частин: системи нагріву; системи контролю; системи охолодження; вакуумної системи.

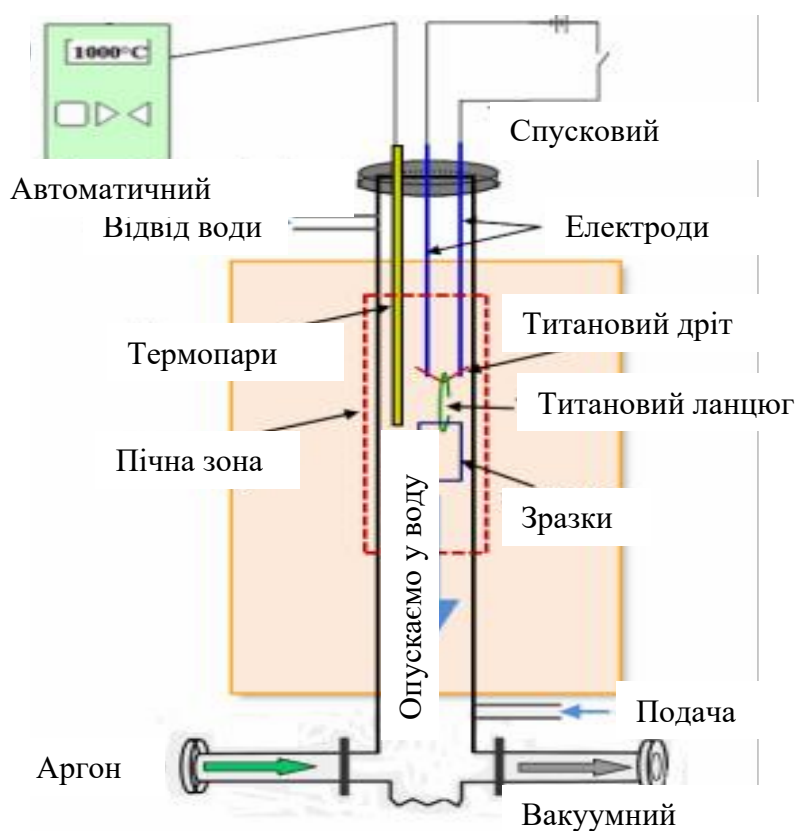


Рисунок 2.4 – Схема вакуумної печі із системою загартування зразків у воду [26]

Перед термічною обробкою зразків робочі параметри печі, такі як: температура та швидкість нагріву, час витримки, повинні бути встановлені за допомогою контрольного екрана, який є у автоматичному контрольному блоці. В кінці процесу термічної обробки зразки падали в посуд з рідиною внаслідок згорання титанового дроту у спусковому контурі [26].

Слід зазначити, що зразки після прокатки при випробуванні на розтяг демонструють низьку пластичність і надзвичайно високу міцність. Причина такого роду поведінки – повне руйнування β мікроструктури зерна після холодної деформації прокаткою. Повторний відпал використовується для відновлення β –метастабільної структури сплавів. Термічна обробка сплавів на основі титану зазвичай відбувається вище температури переходу β на півгодини та після загартування у воду. Гомогенізуючий відпал зразків з метою повного розчинення легуючих елементів назвали solution treatment (ST) – див. рис. 2.5.

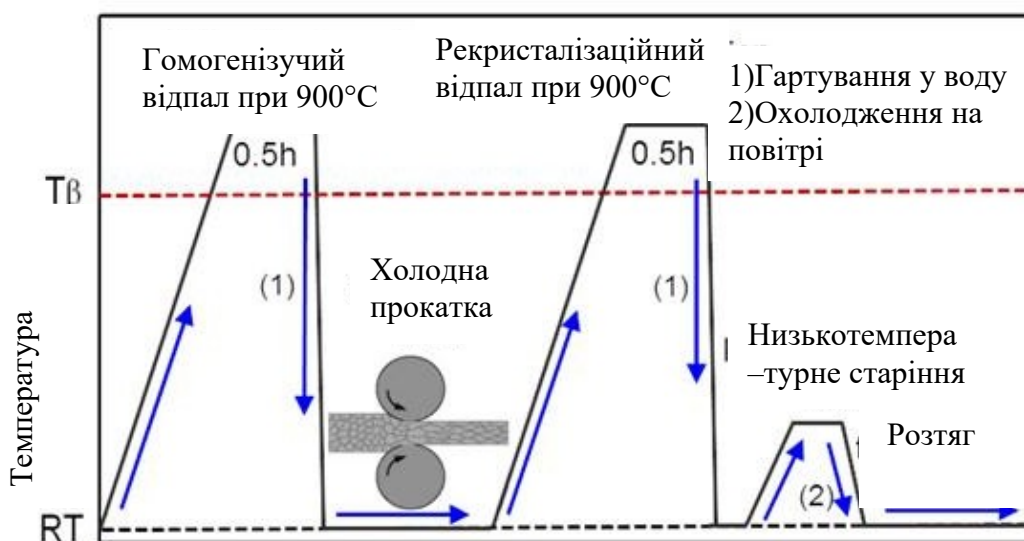


Рисунок 2.5 – Схема процесу термомеханічної обробки зразків [31]

За допомогою такої вакуумної печі (рис. 2.4) можна здійснювати різні термічні обробки, такі як старіння, відпал, тощо, з метою підвищення механічних властивостей зразків. В роботах лаборант та інші повідомили про вплив термомеханічної обробки титанових сплавів на їх структуру і властивості. Ними показано, що виділення ω – або α –фази у матриці внаслідок старіння β –фази призводить до покращення механічних властивостей β –метастабільних сплавів. В якості прикладу термомеханічної обробки пропонується використовувати обробку для відпалу β –фази, низькотемпературне старіння та низькотемпературне – або високотемпературне двостадійне старіння [33].

На рис. 2.5 представлена схема процесу термомеханічної обробки зразків із старінням при низьких температурах.

2.3 Методи дослідження мікроструктури

2.3.1 Виготовлення шліфів та оптична металографія

Для спостереження мікроструктури зразків за допомогою оптичного і скануючого електронного мікроскопу були виготовлені їх шліфи на установці Beuhler simplimet® 1000 шляхом запаювання зразків у електропровідну фенольну смолу. Після фіксації зразків смолою було виконано їх механічне шліфування на різних абразивних паперах з нанесеним шаром SiC. Процедуру полірування проводили шляхом послідовної зміни абразивів із шліфувальними частинками розмірами 800 мкм, 1200 мкм, 2400 мкм та 4000 мкм. Потім зразки шліфували колоїдним розчином оксиду алюмінію в межах від 1 мкм до 0,05 мкм. Нарешті, зразок механічно очищали ультразвуковою очищувальною ванною, яку наповнювали етанолом і відбувалось хімічне травлення у водному розчині кислоти у такій пропорції (в об'ємній шкалі): $\text{HF} : \text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 3 : 5$.

Під час цієї роботи оптичний мікроскоп OLYMPUS PME використовувався для різних цілей, таких як спостереження за смугою ковзання в результаті деформації, контролю якості полірування та дослідження розміру зерен.

2.3.2 Скануюча електронна мікроскопія (SEM)

При дослідженні впливу пластичної деформації та старіння зразки після різних обробок досліджували за допомогою скануючого електронного мікроскопа (SEM) із польовим емісійним пістолетом. Під час досліджень SEM зразки піддавали стандартній процедурі шліфування, такому як механічне полірування за допомогою силіконово–алмазного полірувального паперу, алмазної пасти та подальше електрополірування кислотним розчином у воді [41].

2.3.3 Рентгеноструктурний аналіз

Рентгеноструктурний фазовий аналіз зразків після випробування на розтяг проводився за допомогою дифрактометру PANalytical X'Pert Pro у випромінюванні $\text{CuK}\alpha$ в режимі 45 кВ і 40 мА, при обертанні зразка під час зйомки (рис. 2.7). Рентгеноструктурний аналіз – метод дослідження структури речовини, в основі якого лежить явище дифракції рентгенівського випромінювання на тривимірних кристалічних ґратках. Для дослідження атомної структури застосовують випромінювання з довжиною хвилі близько 1 Å, тобто, розмірів атомів. Разом із нейтронографією і електронографією метод належить до дифракційних методів дослідження структури речовини [31]. Факт явища дифракції рентгенівських променів на кристалах відкритий Лауе, теоретичне обґрунтування явищу дали Вульф і Брегг (умова Вульфа–Брегга). Як метод рентгеноструктурний аналіз розроблений Дебаєм і Шеррером. Рентгеноструктурний аналіз і до цього дня залишається одним з найпоширеніших методів визначення структури речовини через його простоту і відносну дешевизну.



Рисунок 2.7 – Дифрактометр PANalytical X'Pert Pro [31]

Накопичення даних проводили у кутовому діапазоні 2θ від 20° до 140° із кроком $0,005^\circ$.

2.4 Експериментальне визначення модулів пружності

При випробуванні на розтяг, яке зображено на рис 2.8 визначають межу міцності (σ_B), межа плинності (σ_T), відносне подовження (δ) і відносне звуження (ψ). Випробування проводять на розривних машинах з використанням стандартних зразків з площею поперечного перерізу F_0 і робочої (розрахункової) довжиною l_0 . В результаті проведення випробувань отримують діаграму розтягування (рис. 1). На осі абсцис вказується значення деформації, на осі ординат – значення навантаження, що додається до зразка. Межа міцності (σ_B) – це максимальне навантаження, яке витримує матеріал без руйнування, віднесена до початкової площі поперечного перерізу зразка ((P_{\max} / F_0) [35].

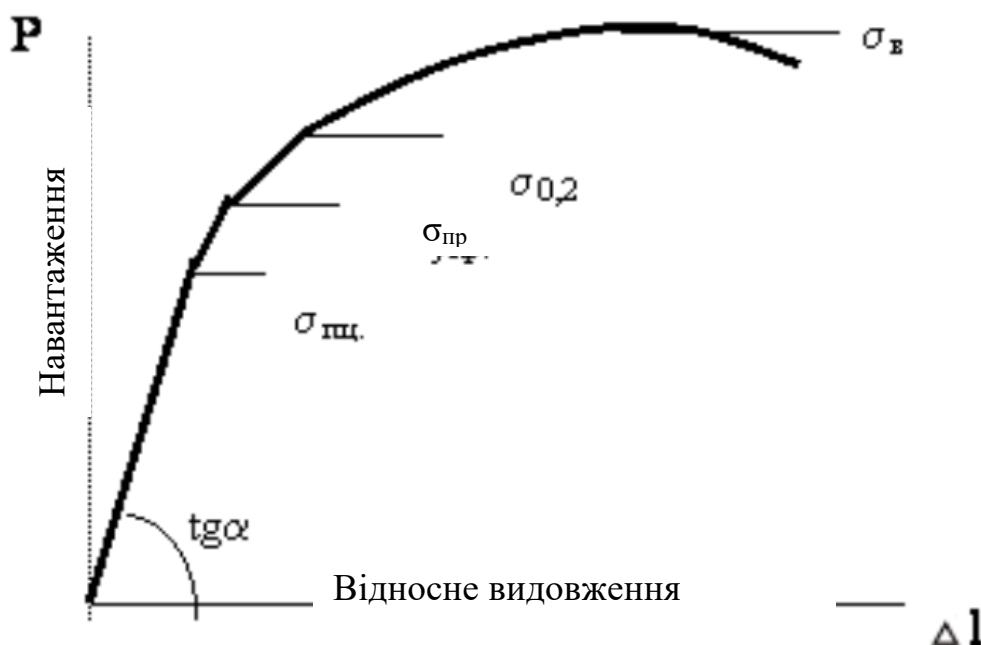


Рисунок 2.8 Діаграма розтягнення [35]

Необхідно відзначити, що при розтягуванні зразок подовжується, а його поперечний переріз безперервно зменшується. Істинне напруження визначається

діленням діючу в певний момент навантаження на площу, яку зразок має в цей момент. Справжні напруги в повсякденній практиці не визначають, а користуються умовними напруженнями, вважаючи, що поперечний переріз F_0 зразка залишається незмінним.

Межа плинності (σ_T) – це навантаження, при якій відбувається пластична деформація, віднесена до початкової площі поперечного перерізу зразка (P_T / F_0). Однак при випробуваннях на розтяг у більшості сплавів майданчики плинності на діаграмах немає. Тому визначається умовна границя плинності ($\sigma_{0.2}$) – напруження, якому відповідав би пластична деформація 0,2 %. Вибране значення 0,2 % досить точно характеризує перехід від пружних деформацій до пластичних [37].

До характеристик матеріалу відносять також межа пружності ($\sigma_{пр}$), під яким мають на увазі напруга, при якому пластична деформація досягає заданого значення. Зазвичай використовують значення залишкової деформації 0,005; 0,02; 0,05 %. Таким чином, $\sigma_{0,05} = P_{пр} / F_0$ (РПР – навантаження, при якій залишкове подовження становить 0,05 %).

Межа пропорційності $\sigma_{мп} = P_{ПЦ} / F_0$ (РПЦ – максимальне навантаження, при дії якої ще виконується закон Гука) [42].

Пластичність характеризується відносним подовженням (δ) і відносним звуженням (ψ):

$$\delta = [(l_k - l_0) / l_0] \cdot 100\% \quad (2.2)$$

де l_k – кінцева довжина зразка;

l_0 – початкові довжина і площа поперечного перерізу зразка.

$$\psi = [(F_0 - F_k) / F_0] \cdot 100\% \quad (2.3)$$

де F_0 – початкові довжина і площа поперечного перерізу зразка;

F_k – площа поперечного перерізу в місці розриву.

Для малопластичних матеріалів випробування на розтягнення викликають труднощі, оскільки незначні перекося при установці зразка вносять суттєву

похибку у визначення руйнівного навантаження. Такі матеріали, як правило, випробовують на вигин.

2.5 Висновки до розділу 2

1. Обґрунтовано вибір матеріалу дослідження Ti-12Mo-xSn , де ($x = 0, 1, 2, 3, 4, 6, 8$) %.
2. Випробування на одновісний розтяг, мікроструктурний аналіз сплавів (SEM), рентгеноструктурний (фазовий) аналіз ($\text{CuK}\alpha$ - випромінювання) дозволять повноцінно дослідити різні характеристики отриманих покриттів.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1 Випробування на розтяг

На рисунку 3.1 зображено криві на розтяг сплаву $\text{Ti} - 12\%\text{Mo}$ з різним вмістом Sn (1 %–8 %). Із збільшенням вмістом Sn змінюється пластичність і міцність. З графіка видно, що сплав $\text{Ti} - 12\%\text{Mo} - 8\%\text{Sn}$ має найбільшу міцність, але пластичність при цьому стає досить низькою 3 %. І навпаки сплав з низькою концентрацією Sn (1%), $\text{Ti} - 12\%\text{Mo} - 1\%\text{Sn}$ є дуже пластичним, але має низькі показники міцності σ_b і σ_t . Сплави з вмістом Sn 2 %, 3 %, 4 %, 6 % показали оптимальні характеристики, а найбільші показники пластичності досягають 40 %, і показують досить високу міцність 1130 МПа.

Максимальна величина межі текучості σ_t , визначена, як точка перетину від продовження пружної ділянки кривої одновісного розтягу із дотичною, проведеною по горизонталі після ділянки пружності, отримана в $\text{Ti} - 12\%\text{Mo} - 4\%\text{Sn}$ становить 650 МПа, а максимальна величина тимчасової міцності σ_b , тобто напруження, яке сплав витримує до руйнування і 1070 МПа при максимальному запасі пластичності (відносному подовженні) 38 %.

У двофазних сплавах має місце адитивна залежність модуля пружності від об'ємної концентрації фаз, що складають сплав, але вже в разі потрійних систем ситуація набагато ускладнюється, що відображається більш складною залежністю, що має місце в нашому випадку рис 3.1. Характер зміни модуля Юнга в потрійних Ti-Mo-Sn сплавах носить немонотонний і нерівномірний характер. З огляду на порівняно невелику структуру чутливості пружних властивостей модуль пружності майже не залежить від величини зерна однофазного сплаву.

Сплав з 2 % вмістом олова показує високу пластичність, яка сягає 40 % відносного видовження, що дозволяє використовувати цей матеріал в медицині. Наприклад, виготовленні суглобів, кісток, зовнішні і внутрішні протези, внутрішньокісткові фіксатори, затискачі.

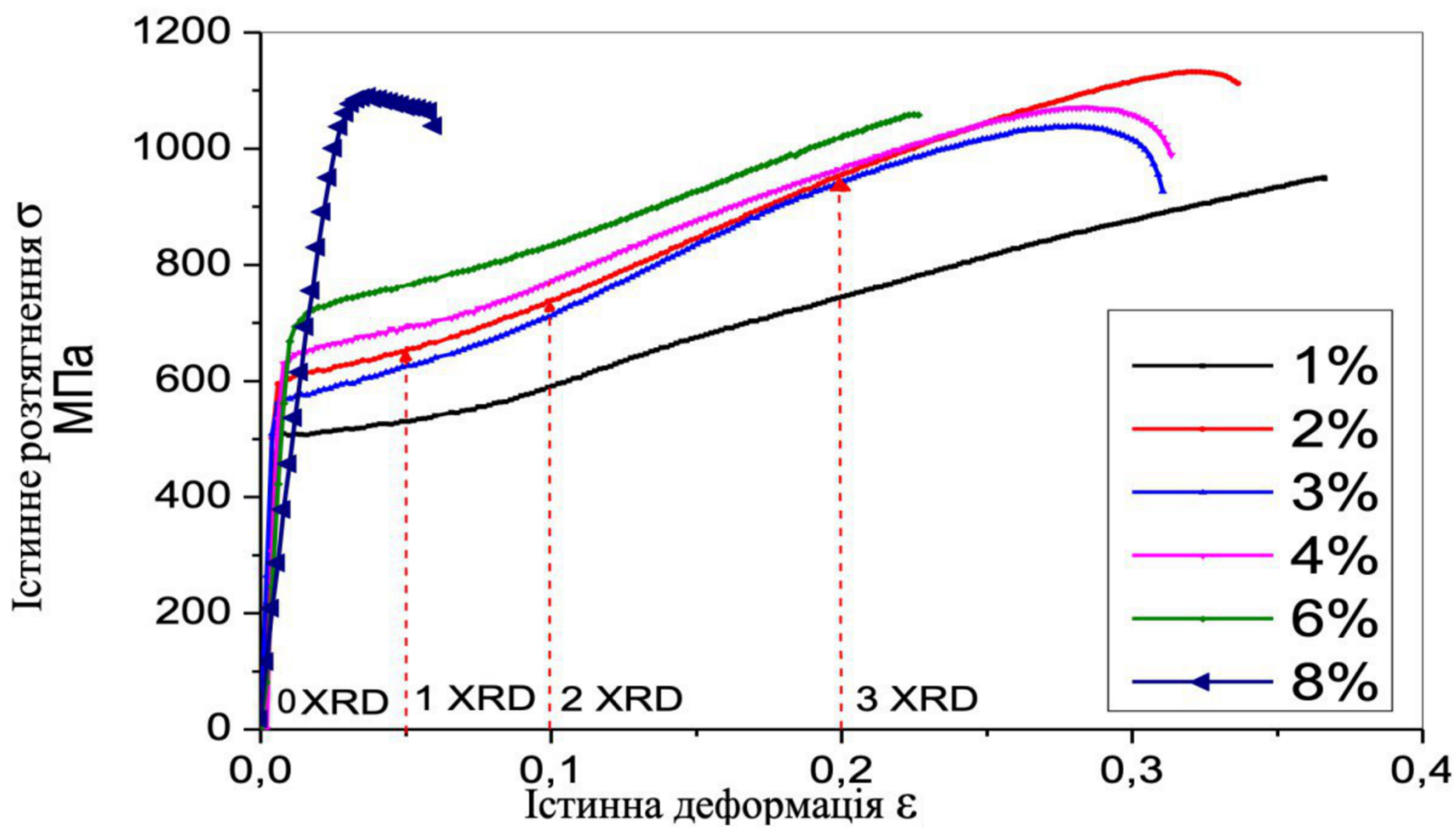


Рисунок 3.1 – Криві «істинне розтягнення (σ) – істинна деформація (ε)» сплавів сімейства Ti–12% Mo–xSn (при кімнатній температурі випробування)

Оптимальне поєднання механічних властивостей в умовах одновісного розтягу демонструє сплав наступного складу Ti–12%Mo–2%Sn, для якого при однаковій термомеханічній обробці отримані максимальні значення границі текучості 600 МПа і тимчасової міцності 1130 МПа при високих значеннях швидкості деформаційного зміцнення 1600 МПа, пластичності 40 % і модуля пружності. Отримані механічні характеристики цього сплаву істотно вищі за показники міцності і пластичності механічні характеристики бінарного Ti–12% Mo сплаву, що робить цей склад сплаву потенційно придатним для застосування в різних призначеннях.

Також важливо зазначити, що 0XRD це рентгеноструктура сплаву при 0 % деформування, 1XRD це рентгеноструктура сплаву при 5 % деформування, 2XRD це рентгеноструктура сплаву при 10 % деформування, 3XRD це рентгеноструктура сплаву при 20 % деформування.

З даного графіка можна зробити висновок, що при додаванні в сплав олова до 8 %, підвищується межа текучості в порівнянні з сплавом Ti–12%Mo. Це дозволяє зробити висновок, що сплав зі вмістом 8 % більш доцільно використовувати в ракетобудуванні тому, що цей сплав показує низьку пластичність, але показує високу міцність.

3.2 Експериментальне визначення механічних властивостей

Величина характеристик пружності знаходиться в прямій залежності від періоду кристалічної решітки і сили міжатомного зв'язку. Так, при порівнянні титану з залізом параметри кристалічної решітки більше у титану, а енергія, що приходить на один міжатомний зв'язок менше, що і зумовлює знижені значення пружних характеристик титану по відношенню до заліза. У чистого титану модуль Юнга залишає 112 ГПа. Легування цирконієм і оловом слабо, але закономірно знижує модуль нормальної пружності. Ванадій, цирконій, молібден зменшують модуль Юнга відпалених титанових сплавів, а їх значення для β -сплавів знаходяться в діапазоні (80–100) ГПа. У бінарних сплавах адитивність в зміні пружних характеристик від впливу легуючих елементів зберігається до вмісту

хімічних компонентів (10–15) %. Параметр кристалічної решітки a при легуванні титану молібденом до 10 % зміняться від 3,28 Å до 3,26 Å [34]. У складу Ti–12%Mo після загартування з β -області були встановлені дві гексагональних решітки з періодами $a = 2,99$ Å $c = 4,65$ Å або $a = 2,96$ Å $c = 4,40$ Å відповідно [35–38].

Характерною особливістю β -сплавів, загартованих з метою отримання твердого розчину, є малий інтервал між значеннями межі міцності і межі текучості і низьке значення рівномірного подовження. Розглянемо деформаційну поведінку сплаву з постійним вмістом 12%Mo і варіюванням концентрації олова 2 %, 4 %, 6 % при його заміщенні титаном. При збільшенні вмісту олова спостерігаються деякі зміни механічної поведінки. У той же час, для цього складу сплаву кілька падає модуль Юнга по відношенню до сплавів містить 2 % і 6% олова, хоча ці показники не перевищують 5 %. Зміна величини границі текучості пов'язана з внеском твердорозчинного зміцнення при формуванні метастабільної β структури. Загартування поряд з твердорозчинним зміцненням сплаву сприяє зміні межі текучості. Результати досліджень наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1–Основні механічні характеристики сплавів системи Ti–Mo Sn

Механічні Характеристи ки	Експериментальна крива				Справжня крива		
	σ_T , МПа межа плинності	$\sigma_{v(max)}$, МПа напруження тимчасового опору	E , ГПа модуль Юнга	ϵ_{max} , ступінь деформації %	σ_T , МПа	$\sigma_{v(max)}$, МПа	ϵ_{max} , %
Ti	523	673	108	24			
Ti–7,5Mo [16]	737	1019	70	16			
Ti–12Mo [16]			84		480	980	38
Ti–12Mo–1Sn	515	659	84,2	44,25	515	950	36
Ti–12Mo–2Sn	600	777	99,6	50	600	1130	40
Ti–12Mo–3Sn	580	751	104,5	46,5	580	1040	38
Ti–12Mo–4Sn	650	772	105,7	46,5	650	1070	38
Ti–12Mo–6Sn	710	806	67,5	31,5	710	1060	27
Ti–12Mo–8Sn	1050	1069	83,6	3	1050	1090	3
Ti–15Mo [16]	745	921	84	25			

Легування оловом дозволяє отримати досить міцний сплав (600–710) МПа, а також дуже пластичний (27–40) %. Саме сплави з 2 %, 3 %, 4 % показують найкращі характеристики. Матеріал з вмістом 1 % має високий показник пластичності, але показник міцності складає лише 515 МПа. Сплав з вмістом 8 % олова володіє високим показником міцності 1050 МПа, а показником пластичності дуже низький, лише 3 %. Розглянемо пружні характеристики сплавів, до яких відноситься модуль Юнга або нормальної пружності. Завдяки сплаву трьох різних хімічних елементів значення модулів пружності зростає зі збільшенням сил міжатомного зв'язку, що перешкоджають зсувів атомів з положення рівноваги. утворення текстури.

Для виготовлення протезів і суглобів вибирають титан модуль Юнга якого близький до 70 ГПа, тобто з отриманих результатів можна зробити висновок, що матеріали які мають 1 % і 2 % найкраще підходять для цих задач, але матеріал з вмістом 1 % показує малий показник міцності, що дозволяє виділити сплав $Ti_{12}\%Mo_{2}\%Sn$, який найкраще підходить для створення нових складних протезів, кісток, фіксаторів.

3.3 Рентгенографічний аналіз

Було знято рентгенограми для сплаву $Ti-12\%Mo-4\%Sn$ при різному ступені деформації а саме 0 %, 1,5 %, 5 %, 10 %, всі результати зображені на рис. 3.2.

З рентгенограми сплаву без дефекту спостерігаються лінії β - фаз Ti з ОЦК граткою: (110), (211) і (220). Лінії (200) не сильні, що може бути пов'язане з текстурою та крупнозернистістю зразка . Лінії (110) і (211) дуже інтенсивні, чіткі, що свідчать зразок знаходиться у вихідному стані.

На рентгеноструктурі зразків після деформації 5 % , спостерігається поява чіткої лінії від другої фази: α'' – мартенситна деформація (з орторомбічною граткою $(021)\alpha''$ і $(023)\alpha''$ – слабка інтенсивність α'' – фаз свідчить, що цієї фази дуже мало в зразку і вони утворюються в процесі деформації.

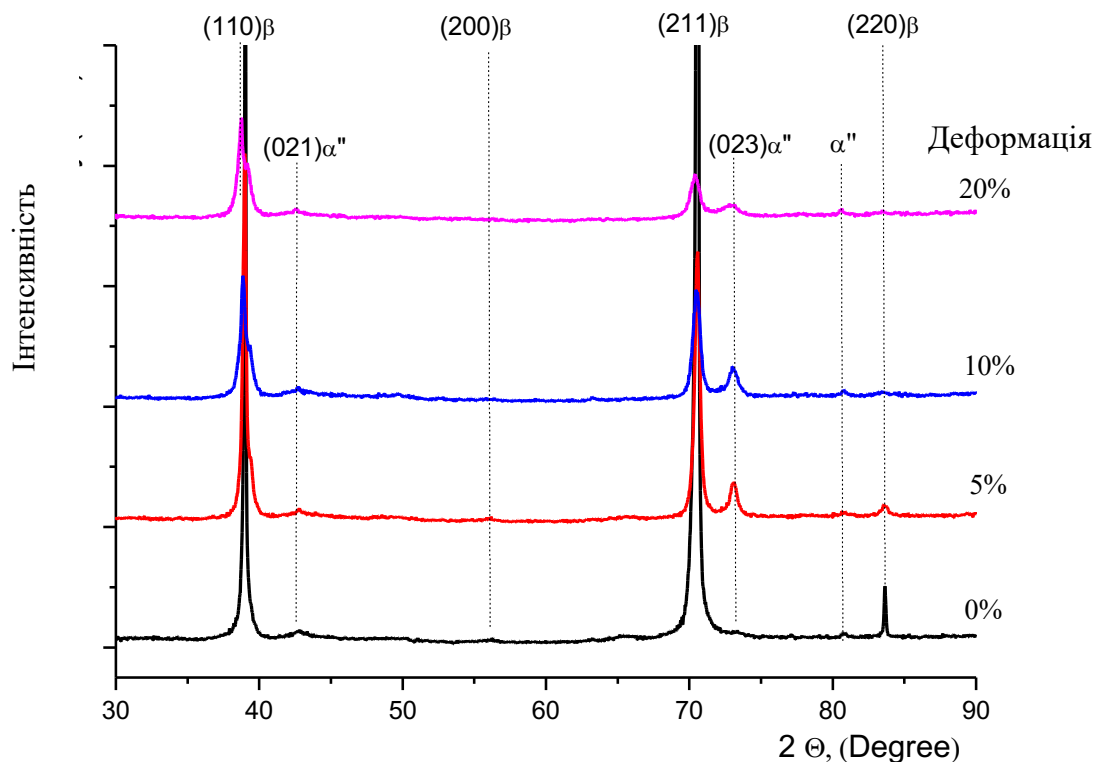


Рисунок 3.2 – Рентгенограми сплаву Ti–12%Mo–4%Sn за різного ступеня деформації

З підвищенням ступеня деформації інтенсивність ліній β – фази Ti зменшується і вони зміщуються в сторону малих кутів, що пов'язана з дифракцією, утворення дислокацій при деформації і внутрішніх напружень (макро і мікро напруження).

Сильне уширення, зниження інтенсивності як β – фази так і α' –фази пов'язане з зростанням густини дислокацій, двійникуванням.

Також була відзнята рентгенограма для Ti–12%Mo–6%Sn при 0 %, 1,5 %, 5 %, 10 % деформації, зображено на рис.3.3–3.6.

З рентгенограм сплаву без дефекту, що спостерігається на рис.3.3 спостерігаються лінії β – фаз Ti з ОЦК ґраткою: (110), (211). Лінії (200) не сильні, що може бути пов'язане з текстурою та крупнозернистістю зразка. Лінії (110) і (211) дуже інтенсивні, чіткі, що свідчать зразок знаходиться у вихідному стані.

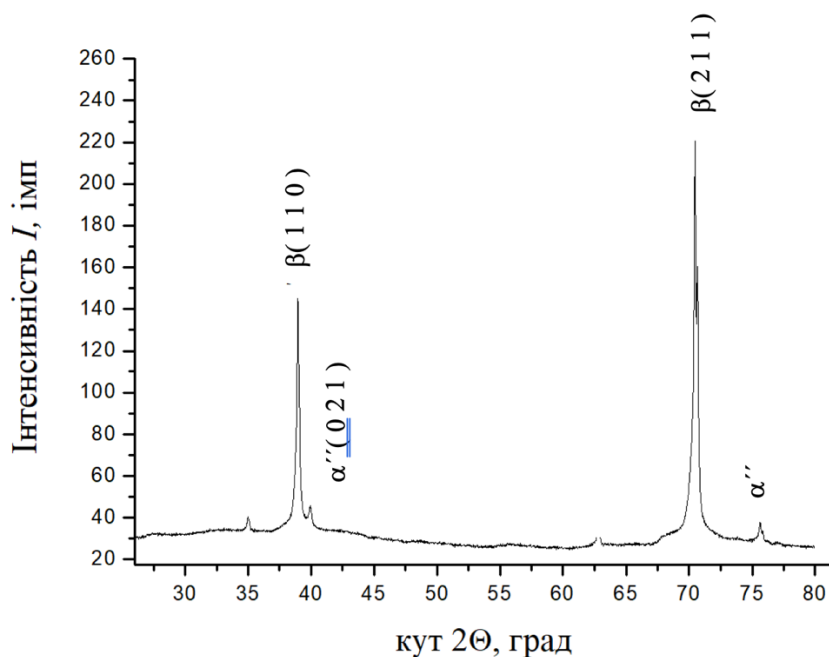


Рисунок 3.3 – Рентгенограми сплаву за 0 % ступеню деформації

На рентгеноструктурі що зображено на рис. 3.4 зразків після деформації 5%, спостерігається поява чіткої лінії від другої фази: α'' – мартенситна деформація (з орторомбічною ґраткою $(021)\alpha''$ і α'' – слабка інтенсивність α'' – фаз свідчить, що цієї фази дуже мало в зразку і вони утворюються в процесі деформації.

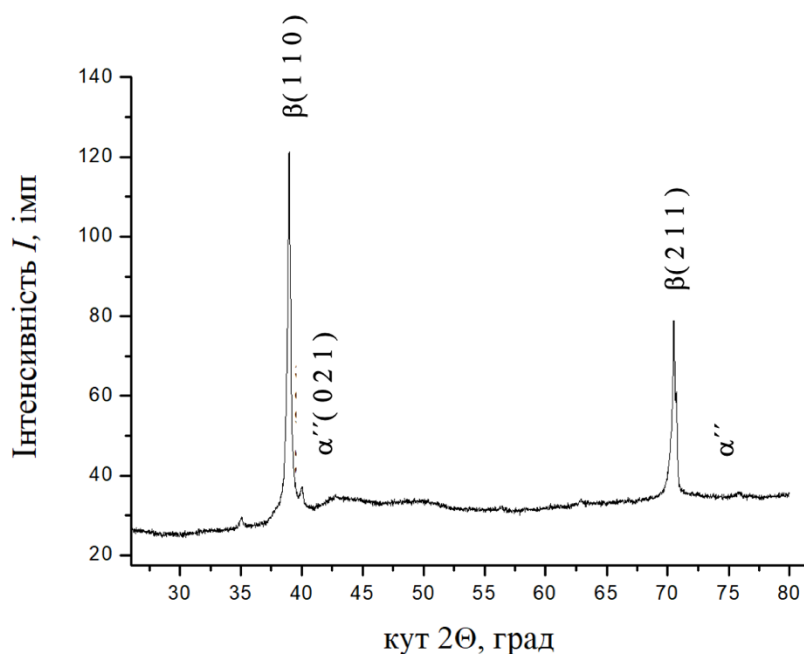


Рисунок 3.4 – Рентгенограми сплаву Ti–12%Mo–6%Sn за 1.5 % ступеню деформації

З підвищенням ступеня деформації, що зображено на рис. 3.5 інтенсивність ліній β – фази Ті зменшується і вони зміщуються в сторону малих кутів, що пов'язана з дифракцією, утворення дислокацій при деформації і внутрішніх напружень (макро і мікро напруження)

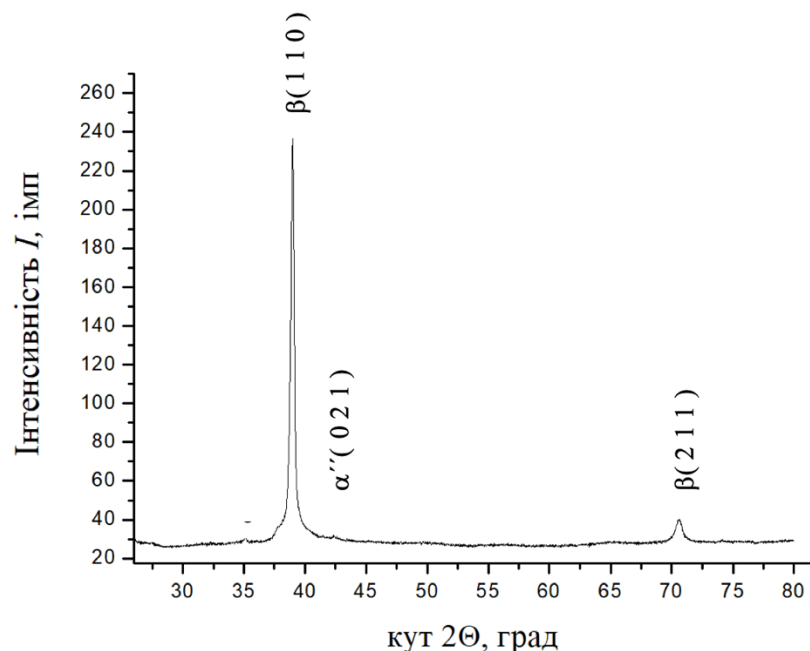


Рисунок 3.5 – Рентгенограми сплаву Ti–12%Mo–6%Sn за 5 % ступеню деформації

Сильне уширення, що можна побачити рис. 3.6 зниження інтенсивності як β – фази так і α' –фази пов'язане з зростанням густини дислокацій, двійникуванням.

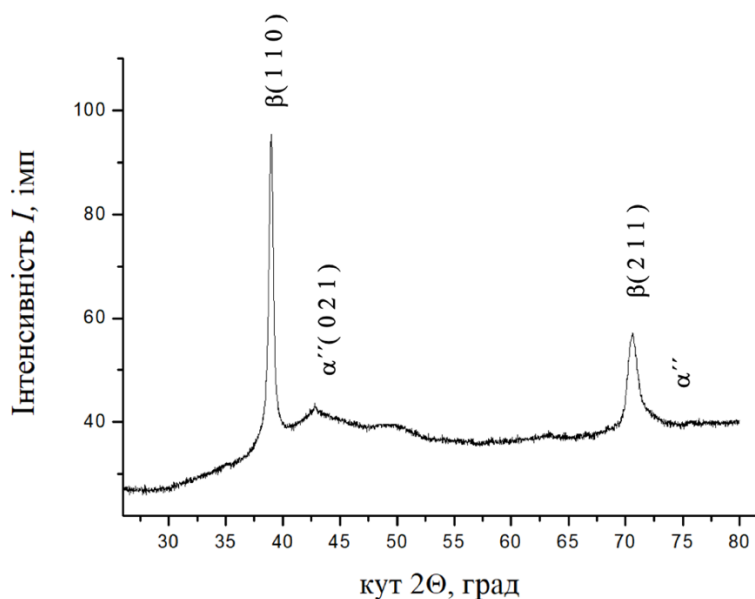


Рисунок 3.6 – Рентгенограми сплаву Ti–12%Mo–6%Sn за 5 % ступеню деформації

3.4 Металографічний мікроструктурний аналіз

На даній мікроструктурі рис. 3.7 можна побачити підготовлений зразок. Сам зразок являє собою пластинку $0,5\text{ мм} \times 5\text{ мм} \times 50\text{ мм}$, попередньо оброблений для експерименту, а саме шліф травлення відпал при $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 2 годин . На даній мікроструктурі можна спостерігати однорідну гомогенну фазу – β –твердий розчин Mo і Sn в Ti. Також можна відмітити, що фаз виділення не спостерігається. Тонкі границі зерен. Розмір зерен коливається від 100 мкм – 250 мкм . Ця фаза метастабільна, оскільки отримали при загартуванні перенасичений твердий розчин Mo і Sn в Ti (ОЦК гратка).

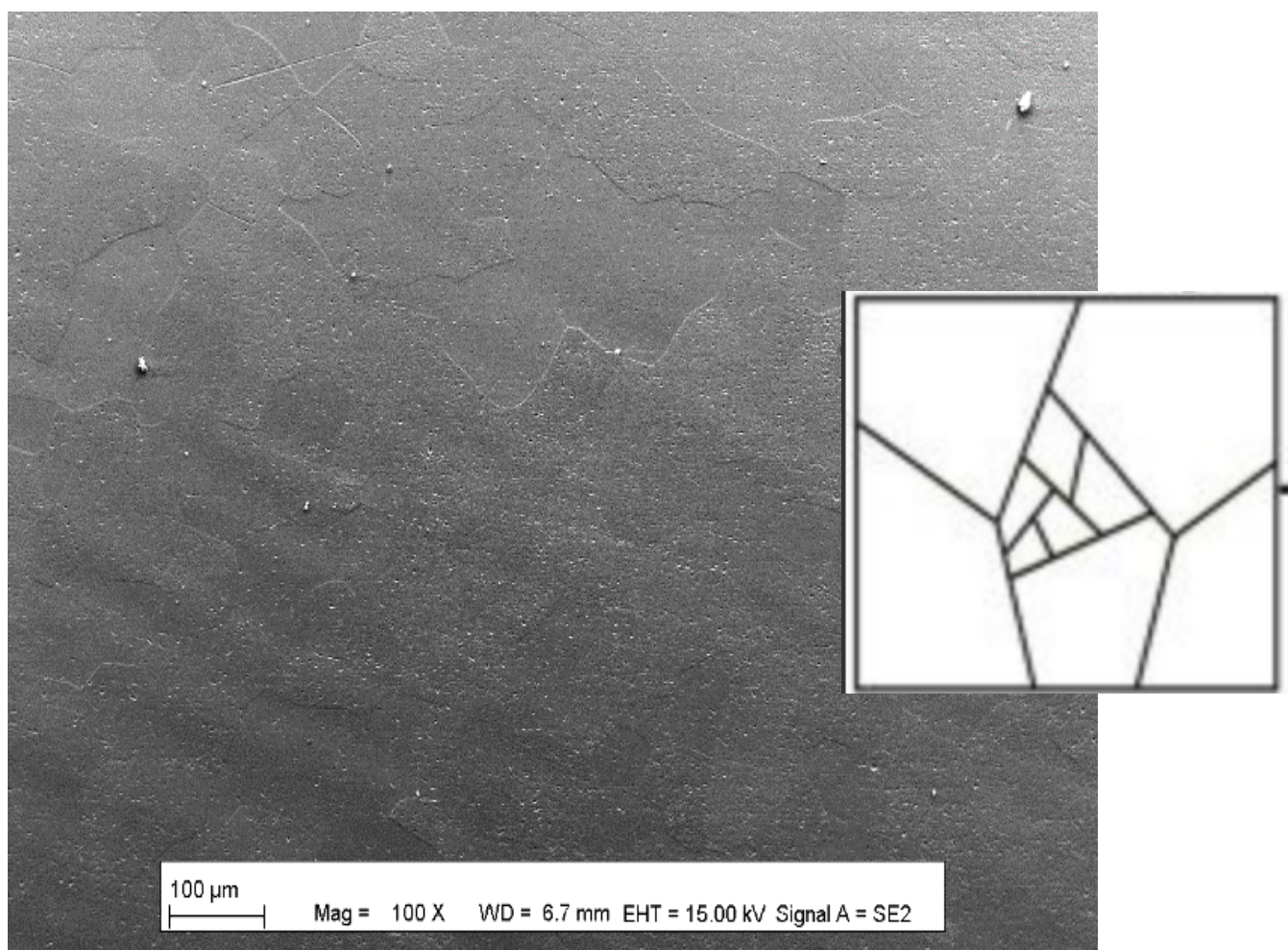


Рисунок 3.7 – Мікроструктура сплаву у вихідному стані після відпалу

На мікроструктурі рис. 3.8 можна побачити двійникові структури, що утворюються в гомогенних в β – твердого розчину Ti , що свідчать про механізм деформації. Всі двійники знаходяться в одній області, що свідчить про TWIP ефект.

Також на рисунку можна побачити, що присутні дефекти, які при підготовці зразка не були затерті.

На рис 3.8 представлена мікроструктура сплаву Ti–12%Mo–6%Sn при 1.5 % деформації. Це початкова стадія деформація і з мікроструктур видно, що двійникування відбувається в одній системі $\{112\} \langle 111 \rangle$ або $\{332\} \langle 113 \rangle$.

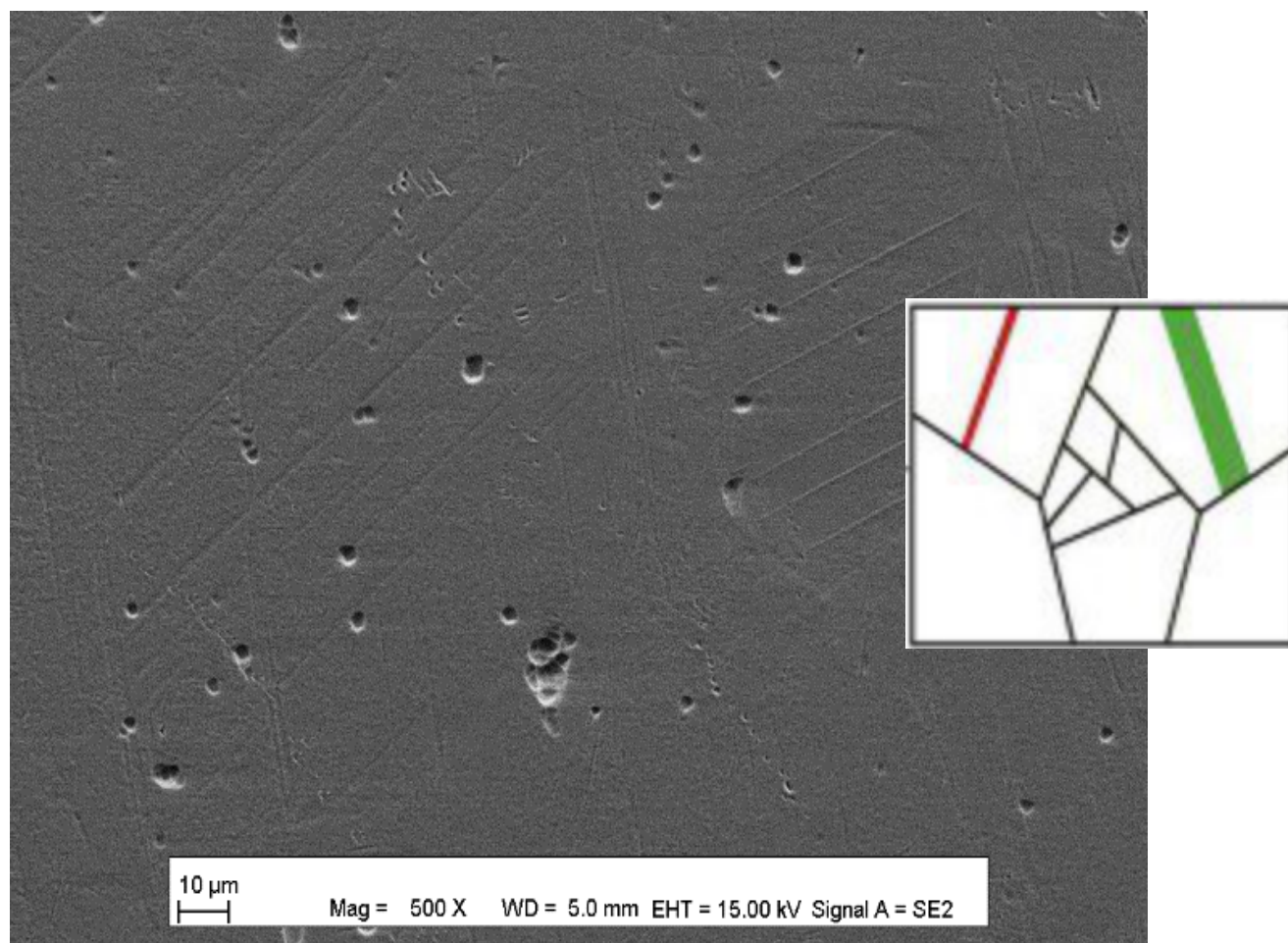


Рисунок 3.8 – Мікроструктури сплаву після 1.5% ступеню деформації

На даній мікроструктурі рис. 3.9 можна побачити різні типи двійникування, а саме TWIP і TRIP ефекти. Собою TWIP ефект є процесом двійникування при деформації, а TRIP це мартенситне перетворення. Також можна побачити що двійники знаходяться уже в декількох площинах деформації.

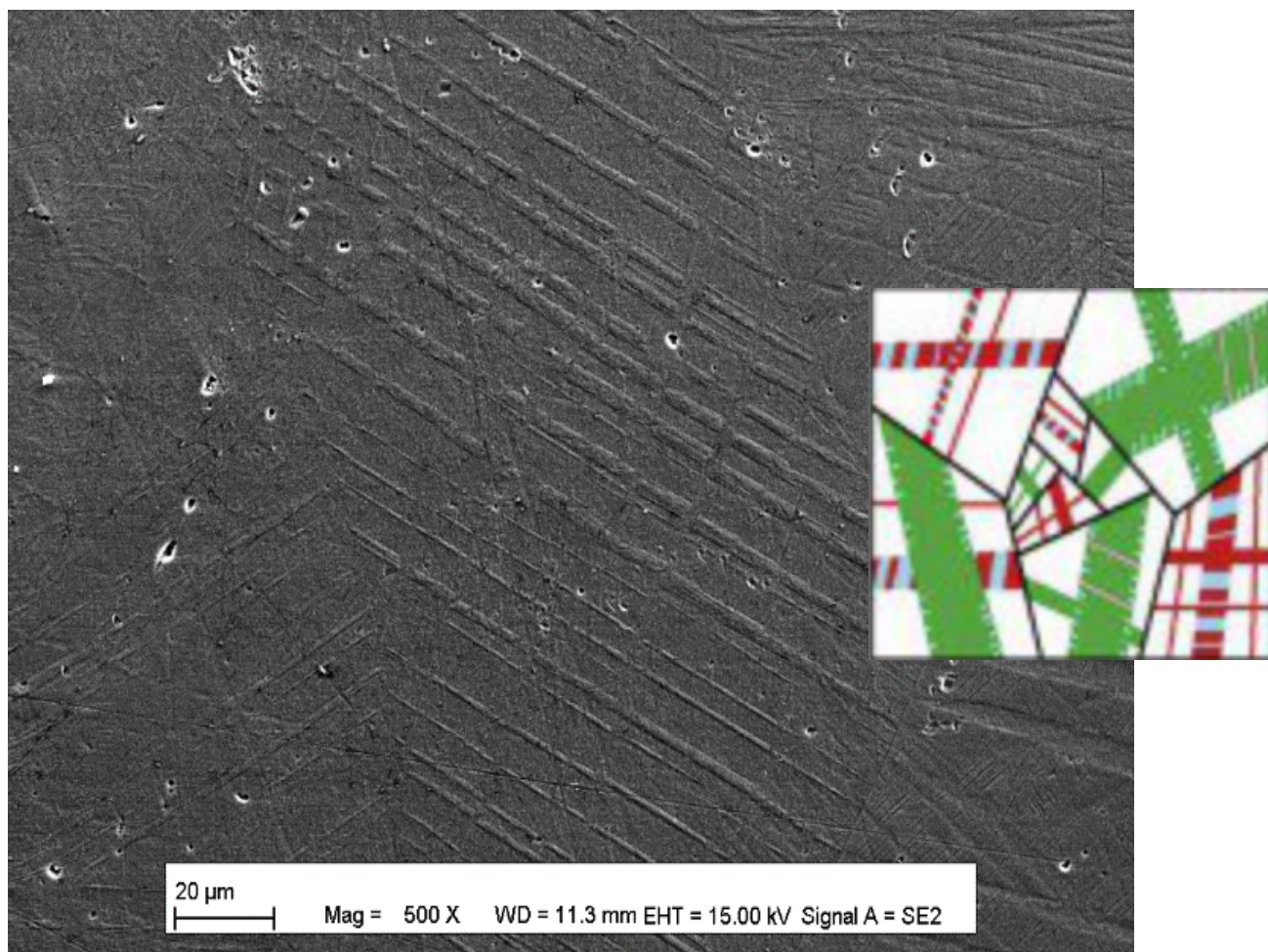


Рисунок 3.9 – Мікроструктури сплаву після 10 % ступеню деформації

Первинні великі двійники в системах $\{112\} \langle 111 \rangle$ та $\{332\} \langle 113 \rangle$ і вторинні в системах $\{112\} \langle 111 \rangle$. Пластичність обумовлена двійникуванням, а TRIP ефект пластичність виконана мартенситним перетворенням. Поява ліній від α'' -фаза (мартенсит з орторомбічною ґраткою), на рентгенограмах цих зразків підтверджує, що деформація двійникування, обумовлена TWIP ефектом. Спостерігаються різні двійникування на рис. 3.10, а саме великі двійники, малі вторинні перетворення, а також двійники мартенситу.

В сплави на основі титану спеціально вводяться легуючі елементи з метою поліпшення технологічних і експлуатаційних характеристик. Як уже зазначалося, в попередніх розділах, підвищення концентрації легуючих елементів призводить до утворення послідовного ряду твердих розчинів на основі α і β структур цими TRIP та TWIP ефектами.

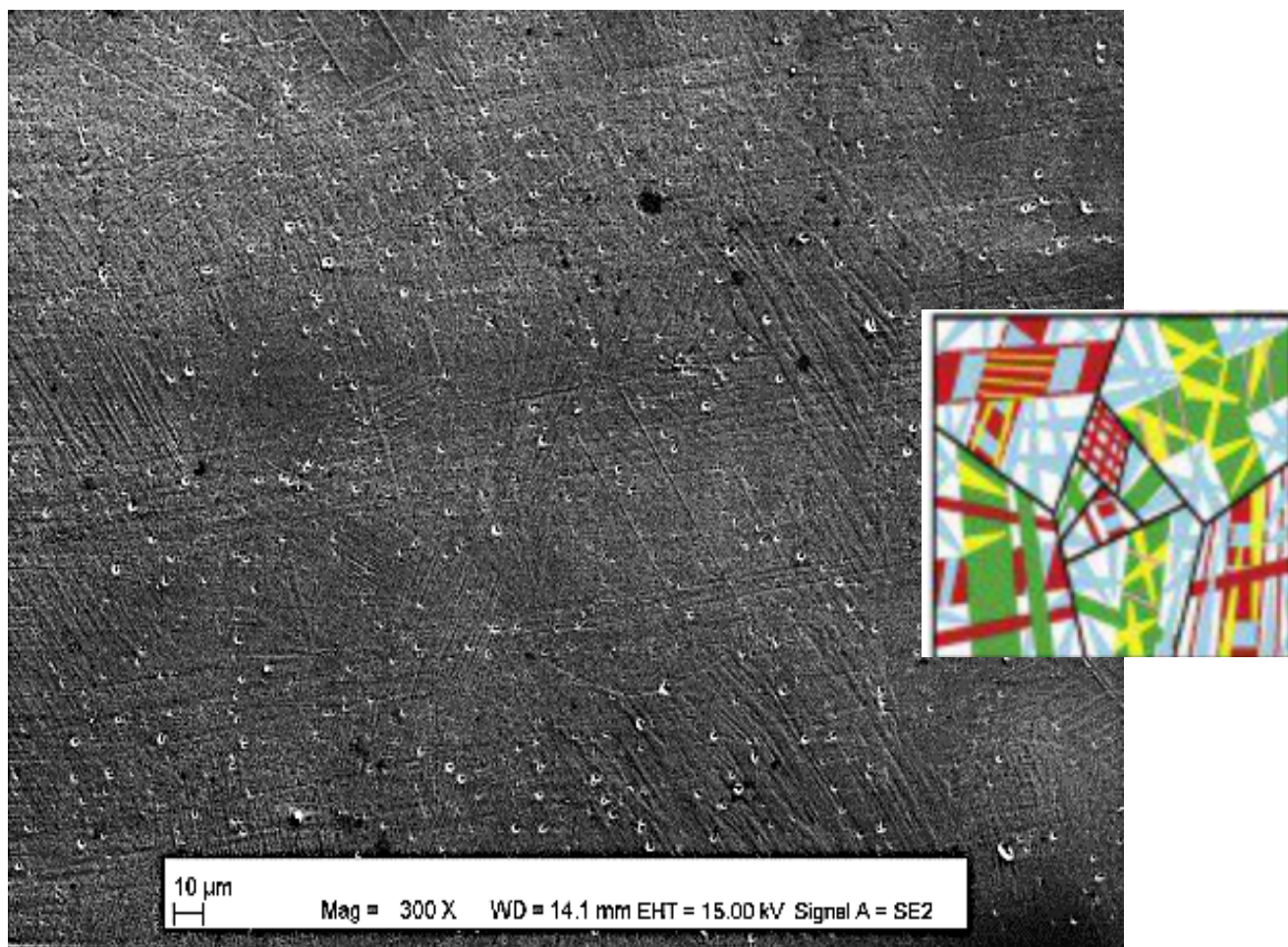


Рисунок 3.10 – Мікроструктури сплаву після відповідного ступеню деформації 10%

Тверді розчини з α структурою вивчені досить ґрунтовно, то тепер акцент у вивченні сплавів титану спрямований на стабільні і метастабільні сплави з β -структурою. Фізичною основою створення титанових сплавів є можливість утворення при введенні легуючих елементів стабільних і метастабільних твердих розчинів на базі α (ГПУ) і β (ОЦК) – поліморфних модифікацій і інтерметалевих з'єднань. Фізико–механічні властивості титанових сплавів визначаються фазовим складом і структурою, які створюються термічною обробкою і / або термомеханічною обробкою [40–48].

Легуючи спільно такими елементами, як β -стабілізатори (Mo) з нейтральними зміцнювачами, можна припускати про їхні можливості використання в різних концентраційних інтервалах для поліпшення фізичних показників і стабільності сплавів, по відношенню до їх бінарним титановим

аналогам. Це означає, що не тільки зміст певного елемента в заданій кількості може визначати ту чи іншу властивість сплаву, а скоріше набір і співвідношення всіх легуючих елементів композицій. Такі дії можуть істотно відбитися на розширенні фізичних можливостей титанових сплавів, а також в поліпшенні їх механічних властивостей, наприклад. Для подальших досліджень підбиралися потрібні сплави, основою яких були добре вивчені бінарні титанові сплави з різним вмістом зазначених елементів в діапазоні стабільності β -фази з об'ємноцентрованою кубічною ґраткою (ОЦК). Для з'ясування принципів оптимального легування досліджуваних титанових сплавів проаналізуємо зміну механічних властивостей, починаючи з деяких подвійних сплавів, але спершу простежимо перспективність складних титанових композицій, в зв'язку з їх актуальними розробками.

Таким чином, можна констатувати про покращення механічних властивостей, а саме, міцності і пластичності, нових потрібних титанових сплавів з вмістом молібдену 12% в результаті легування їх оловом і застосування комплексної термомеханічної обробки в порівнянні з їх бінарним аналогом.

3.5 Висновки до розділу 3

В результаті комплексних досліджень нової потрібної системи сплавів $\text{Ti}-12\%\text{Mo}-x\text{Sn}$ ($x = (1-8) \%$) встановлені наступні закономірності деформаційного поведінки сплавів при одновісному розтягу, серед яких найбільш важливими є:

1. Оптимальне поєднання механічних властивостей в умовах одновісного розтягу демонструє сплав наступного складу $\text{Ti}-12\%\text{Mo}-2\%\text{Sn}$, для якого при однаковій термомеханічній обробці отримані максимальне значення границі текучості 600 МПа і тимчасової міцності 1130 МПа при високих значеннях швидкості деформаційного зміцнення 1600 МПа, пластичності 40 % і модуля пружності. Отримані механічні характеристики цього сплаву істотно перевершують за показниками міцності і пластичності механічні характеристики бінарного $\text{Ti}-12\% \text{ Mo}$ сплаву, що робить цей склад сплаву потенційно придатним для застосування в різних призначеннях.

2. Встановлено, що висока пластичність з високою швидкістю деформаційного зміцнення, властива потрійним сплавів $Ti-12\%Mo-xSn$ з концентрацією олова в діапазоні (1–6) % досягається завдяки одночасному протіканню процесів індукції мартенситу деформації з трансформацією ОЦК в орторомбічну ґратку з переважанням TRIP механізму і двійникування при реалізації TWIP ефекту в полі одного розтягування напруги. Підвищення змісту олова понад 6 % викликає зміну механізму деформування, що приводить до крихкого руйнування в результаті дислокаційного ковзання.

4 РОЗРОБКА СТАРТАП – ПРОЕКТУ

4.1 Актуальність

Найважливішими перевагами титанових сплавів перед іншими конструкційними матеріалами є їх високі питома міцність і жароміцність в поєднанні з високою корозійною стійкістю. Крім того, титан і його сплави добре зварюються, парамагнітні, володіють деякими іншими властивостями, що мають важливе значення в ряді галузей техніки, насамперед це авіабудівництво, медицина, автомобілебудування.

Перераховані якості титанових сплавів відкривають великі перспективи їх застосування в тих областях машинобудування, де потрібні висока питома міцність і жароміцність в поєднанні з високою корозійною стійкістю. Це відноситься, в першу чергу, до таких галузей техніки як авіабудування, ракетобудування, суднобудування, хімічна, харчова та транспортне машинобудування.

Торкаючись деяких специфічних властивостей титану, можна відзначити, що він представляє великий інтерес як конструкційний матеріал для космічних кораблів.

4.2 Опис ідеї проекту

В межах підпункту проаналізовано такі аспекти:

- зміст ідеї;
- можливі напрямки застосування;
- основні вигоди, що може отримати користувач товару;
- чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників.

Опис ідеї стартап–проекту наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап–проекту [45]

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення складнопрофільних виробів на основі потрійного титанового сплаву з постійним вмістом молібдену легованим оловом	Оборонна промисловість	Високий коефіцієнт використання матеріалу, менша трудомісткість, низькі енергетичні та капітальні витрати
	Ракетно–космічна галузь	
	Хімічна промисловість	
	Автомобілебудування	

Технологічну здійсненність ідеї проекту висвітлено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Технологічна здійсненність ідеї проекту [31]

Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Штапування тонкостінних деталей з титанових сплавів	Технологія наявна	Технологія доступна

Аналізуючи дані, що наведені в таблицях, можна зробити висновок, що можливість реалізації проекту існує, оскільки дана технологія наявна на ринку та доступна для реалізації.

4.3 Розрахунок собівартості проведення дослідження

Планова собівартість виконання дослідження, як один з найважливіших економічних показників, відображає рівень матеріальних та трудових витрат, а її планування забезпечує отримання необхідних результатів при мінімальних витратах. Обчислення собівартості дослідження здійснюється за наступними калькуляційними статтями:

- 1) витрати на основні матеріали;
- 2) витрати на спецобладнання, необхідне для проведення експерименту;
- 3) витрати на заробітну платню персоналу;
- 4) відрахування в соцстрах;
- 5) витрати на службові відрядження;
- 6) витрати на послуги сторонніх організацій;
- 7) інші невраховані прямі витрати по темі;
- 8) накладні витрати.

4.3.1 Витрати на основні матеріали

Витрати на основні і допоміжні матеріали, які необхідні для проведення експерименту, проводяться виходячи із вартості та необхідної кількості матеріалів. Дані про матеріали, які необхідні для проведення експерименту наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Вартість основних матеріалів

Найменування матеріалів	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна, грн.	Сума, грн.
1. Чистий Ti (марка BT1–0)	кг.	0,8	1750	1400
2. Чистий Mo (марка AK8)	кг.	0,15	2430	364
3. Чистий Sn (марка)	кг.	0,09	712	64,08
4. Фенольна смола	кг.	0,15	160	24
5. Шліфувальний папір	шт.	10	10	100
6. Спирт Етиловий 96%	літр	0.2	200	40
7. Азотна кислота	літр	0,04	17	0,68
В цілому				1992,76

Транспортні витрати приймаємо в розмірі 10% від ринкової вартості:
 $1992,76 \cdot 0,1 = 192,28$ грн.

Повна сума витрат на матеріали: $1992,76 + 192,28 = 2185,04$ грн.

4.3.2 Витрати на спеціальне обладнання та прилади

Всі роботи виконуються на вже наявному обладнанні. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання відносяться до накладних витрат.

4.3.3 Зарплата виконавців по темі, основна та додаткова

Витрати за цією статтею складаються з основного та додаткового фонду заробітної плати.

Денна заробітна плата виконавців (табл. 4.4) визначається, виходячи з місячних окладів при умові, що середня кількість робочих днів в місяць – 22.

Таблиця 4.4 – Розрахунок денної заробітної платні виконавців теми

Виконавець	Місячний оклад, грн	Денна ЗП, грн.
Відповідальний виконавець теми, провідний науковий співробітник	11352	516
Інженер–дослідник	5780	262,72
Механік	4400	200

Тривалість окремих етапів виконання дослідження наведена в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Трудомісткість різних етапів виконання науково дослідницької роботи

Етапи дослідження	Трудомісткість, людино/день		
	Відповідальний виконавець теми	Інженер–дослідник	Механік
1. Постановка задачі та визначення напрямів дослідження	2	2	–
2. Вивчення літератури	–	8	–
3. Розробка методики проведення робіт	5	15	5
4. Підготування зразків	–	–	6
5. Підготовка обладнання	–	3	4
6. Проведення експериментів	–	9	11
7. Обробка експериментальних результатів	–	13	5
8. Обговорення результатів	3	3	3
9. Оформлення результатів	4	11	6
Разом	14	64	40

Сума прямого та додаткового фондів заробітної платні: ПФЗ + ДФЗП =
 $= 32038,08 + 9611,42 = 41649,50$ грн.

Величина прямого фонду заробітної платні (ПФЗП) визначається як добуток трудомісткості на денну заробітну платню виконавця: $\text{ПФЗП} = 14 \cdot 516 + 64 \times 262,72 + 40 \cdot 200 = 32038,08$ грн.

Додатковий фонд заробітної платні (ДФЗП) складає 30% від прямого фонду: $\text{ДФЗП} = \text{ПФЗП} \cdot 0,3 = 9611,42$ грн.

4.3.4 Відрахування на соціальні заходи

На сьогоднішній день відрахування на соціальні заходи у відсотках від суми прямого та додаткового фондів заробітної плати, тобто від повного фонду заробітної плати, складають 22 %.

Таким чином, відрахування на соціальні заходи складуть: $V_c = (\text{ПФЗП} + \text{ДФЗП}) \cdot 0,22 = 41649,50 \cdot 0,22 = 9162,89$ грн.

4.3.5 Витрати на службові відрядження

Згідно з планом даного дослідження службові відрядження не передбачаються.

4.3.6 Витрати на послуги сторонніх організацій

Згідно з планом даного дослідження послуги сторонніх організацій не передбачаються.

4.3.7 Інші прямі невраховані витрати

Інші прямі невраховані витрати становлять 10 % від суми витрат на заробітну плату, суми відрахувань до єдиного соціального внеску, витрат на матеріали: $P_n = (41649,50 + 9162,89 + 2185,04) \cdot 0,1 = 5299,74$ грн.

4.3.8 Накладні витрати

Сумарна величина накладних витрат включає в себе наступні статті:

а) заробітна плата адміністративно–управлінського, господарського та допоміжного персоналу з єдиним соціальним внеском;

- б) витрати по допоміжному виробництву;
- в) витрати по утриманню та експлуатації виробничих площ;
- г) витрати по охороні праці та техніці безпеки;
- д) витрати на підготовку кадрів;
- е) витрати на силову електроенергію;
- ж) інші витрати.

За нормативами для КПІ ім. Ігоря Сікорського величина накладних витрат складає 20% від основної заробітної платні персоналу науково дослідної роботи:
 $H_v = 32038,08 \cdot 0,2 = 6407,61$ грн.

4.3.9 Планова кошторисна вартість дослідження

Зроблені розрахунки дозволяють визначити загальну планову кошторисну вартість виконання дослідження. Плановий кошторис витрат по темі досліджень наведено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Планова кошторисна вартість дослідження

Назви калькуляційних статей	Позначення	Сума		Примітки
		грн.	% до загального	
Пряма та додаткова зарплатня персоналу	$Z_{\text{пд}}$	41649,50	63,93%	За розрахунком
Відрахування на соціальні заходи	B_c	9611,42	14,75%	22% від ЗП
Витрати на матеріали	C_m	2185,04	3,35%	За розрахунком
Витрати на обладнання	C_{ob}	—	—	Не планується
Витрати на службові відрядження	C_v	—	—	Не планується
Роботи та послуги сторонніх організацій	C_i	—	—	Не планується
Інші невраховані прямі витрати по темі	P_n	5299,74	8,14%	10% від врахованих прямих витрат
Накладні витрати	H_v	6407,61	9,83%	20 % від основної заробітної плати
Разом	Z	65153,31	100%	—

4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап–проекту

Визначення ринкових можливостей (табл. 4.7), які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів–конкурентів.

Таблиця 4.7 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап–проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од.	2900
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од.	289200
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Існує ймовірність, що на момент виходу на ринок будуть компанії, які утворюють олігополію. Складно територіально віднайти місце з мінімальною кількістю конкурентів.
5	Вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	28 %

Для визначення потенційних груп клієнтів та їх характеристики, формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.8).

Таблиця 4.8 – Характеристика потенційних клієнтів стартап–проекту [47]

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Створення складнопрофільних виробів на основі титанового сплаву	Автомобілеб–удування та авіабудівні компанії	Швидкість обслуговування; Сучасні технології та техніка; Обслуговування (гарантія на роботу, програма лояльності для постійних клієнтів). Висококваліфікований персонал;	до послуги: гарантія, стабільність до компанії постачальника якості, кваліфікація персоналу.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводимо аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. № 4.9 – 4.10). Фактори в таблиці подаються в порядку зменшення значущості.

Таблиця 4.9 – Фактори загроз [48]

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Конкурентні переваги, що ґрунтуються на нормативно–правових актах	Введення обов'язкове ліцензування або пов'язану реєстрацію на цю діяльність	Загроза для виходу на ринок.
Конкурентні переваги структурного плану	Приватний клієнт, постачальник, реклама, інфраструктура тощо.	Ця інформація здобувається досить довго, що на нове підприємство на ринку може вплинути негативно.
Загроза появи нових конкурентів	Нові конкуренти пропонують більше нових виробничих потужностей і дозволяють їм придбати приватний ринок, тим самим знижуючи позитивний результат.	Завдяки конкуренції можлива загальна прибутковість організації. Затримати конкурентів – спростити додаткові дані, необхідні для реклами, досліджень та розробок, організації продажів.
Наявність товарів–замінників	Обмежує ймовірну ринкову ціну нашого підприємства	Вищі ціни змушують покупців звернутися до замінника, що знизить обсяг продажу та виробництва в галузі.

Таблиця 4.10 – Фактори можливостей [49]

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Конкурентні переваги, що ґрунтуються на нормативно–правових актах	Пільгові умови для нових підприємств даного виду діяльності.	Швидкий вихід на ринок для ведення підприємницької діяльності.
Розвиток НДДКР	Невеликі підприємства є рушійною силою для створення та впровадження новітніх технологій.	Новітні технології сприяють зменшенню собівартості послуги; збільшенню обсягів продажу; підвищенню якості послуги або створенню нової.

На основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища складаємо перелік ринкових загроз та ринкових можливостей.

Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками впливу факторів і мають певну ймовірність здійснення.

Визначений перелік слабких та сильних характеристик, а також властивостей ідеї потенційної послуги є підґрунтям для формування конкурентоспроможності цієї послуги. Це свідчить про зменшення затрат на створення та реалізацію послуги, зменшення її вартості для клієнта [50].

4.5 Розроблення ринкової стратегії проекту

Фірма, яка запроваджуватиме досліджуваний тип діяльності, розглядатиме два існуючих ринку збуту, ринок приватних осіб, де для отримання обороту грошових коштів, кількості покупців і обсягів продажу продукції застосовувався метод анкетування.

Даний метод аналізу ґрунтується на отриманих відповідях, поширених наперед анкет серед власників невеликих приватних компаній. У анкеті представлений перелік питань, які надають ймовірність оцінити кількість покупців даного типу послуг, про темпи підвищення кількості покупців і обсягів продажу.

Отже, за результатами аналізу було з'ясовано, що цими послугами користуються або бажають користуватись близько 25% опитаних осіб з різною варіацією рівнів доходів.

Для того, щоб відбулося успішне впровадження на ринок потрібно простимулювати майбутніх клієнтів.

Запропоновано:

- клієнти матимуть розстрочку для отримання послуг компанії;
- програма скидок постійним клієнтам та при покупці у великих об'ємах.

Необхідно визначити основну стратегію розвитку підприємства, проаналізувавши основні характеристики наданих послуг. Оскільки надання цих послуг передбачає менші витрати, ніж аналогічні послуги, необхідна стратегія спеціалізації [53].

Реалізуючи цю стратегію, компанія пропонує своїм клієнтам скористатися запропонованими нижче послугами та отримати вигоду від різних компаній. Наступним кроком є використання конкурентної стратегії поведінки підприємств (табл. 4.11)

Таблиця 4.11 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки [50]

Чи є проект "першопрохідцем" на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конку– рентної поведінки
Даний проект не є першопрохідцем на ринку	Для підприємницької діяльності даного виду необхідно відвойовувати клієнтів у конкурентів	Підприємство створить унікальні характеристики, які не будуть копіювати інших	Стратегія спеціалізації

4.6 Розроблення маркетингової програми стартап–проекту

Першим етапом буде створення маркетингової концепції товару, яким безпосередньо буде користуватися клієнт. Для цього зроблено підсумок результатів аналізу конкурентоспроможності товару [48], який представлено у таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Створення складнопрофільних виробів на основі титанового сплаву	Дешевизна, простота, швидкість	Зменшення затрат на підприємницьку діяльність, швидкість виконання робіт

Отримані характеристики: тонкостінні штамповані деталі на основі титанового сплаву із підвищеними міцністю та пластичністю.

До переваг серед конкурентів варто віднести дешевизну послуги, оскільки передбачається, що вона буде коштувати приблизно у 2 рази менше, порівняно з послугами–замінниками та послугами–аналогами.

Методика створення складнопрофільних виробів є унікальною, тому для збереження її від копіювання конкурентами, можна її запатентувати.

4.7 Формування системи збуту

Важливим етапом у проектуванні стартап–проекту є визначення його оптимальної системи збуту. Для даного типу діяльності можна залучати систему збуту або працювати з власною системою збуту. У систему залучення збуту ми використовуємо посередників, що відсутнє при системі власного збуту.

Підприємство також може звернутися до певних збутових операцій при певних умовах. Серед них кліринг – система безготівкових розрахунків за товари, цінні папери та послуги, яка побудована на врахуванні взаємних зобов'язань та вимог.

Вибираючи програми, потрібно мати на увазі, що ці аудиторії вищі та отримують середній дохід. Не забути розмістити рекламу та визначитися, щоб збільшити кількість звичайних номерів. На сьогоднішній день він використав 10%. Провідна аналітика може надати каналам можливість створювати рекламу в Інтернеті (використовуючи різні урядові веб-сайти), банери, рекламні списки та інші, які майже недорого можна побачити.

Спочатку основним завданням реклами буде розповсюдження інформації про відкриття нового підприємства, яке надає унікальні послуги.

4.8 Висновки до розділу 4

Зробивши порівняльний аналіз характеристики даного виду послуг можна зробити висновок, що вона без сумніву є потенційно успішною. Тому, що впроваджений тип послуг є вигідним, унікальним, багатогалузевим, дешевим та доступним.

Встановлені перешкоди, що можуть негативно вплинути на впровадження даного стартапу проекту можуть бути наявні ринкові конкуренти, перебої поставок матеріалу, недостатнє фінансування, погане місцезнаходження підприємства, застосування аналогічних технологій конкурентами та інші. В загальному, цей стартап – проекту має переваги над конкурентами, тому має можливості для його подальшого впровадження на ринку і розширення.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Метою даного розділу є аналіз шкідливих та небезпечних для організму факторів, умов, що можуть привести до травмування в процесі дослідження процесів сплавів під час термічної обробки в атмосфері водню, а також розробка заходів спрямованих на усунення цих факторів та забезпечення безпеки під час надзвичайних ситуацій та розробка заходів і засобів щодо усунення їх в процесі вдосконалення методики вимірювання механічних характеристик матеріалу при запису діаграми вдавнення

При аналізі умов праці при виконанні даної магістерської роботи необхідно розглянути наступні чинники, що впливають на працездатність: план робочого приміщення, мікроклімат, освітлення, шум, вібрації, опромінення, електрична та пожежна безпека.

5.1 Аналіз праці в приміщенні

Науково–дослідницька робота виконувалась на кафедрі фізико–технічних технологій ІМФ в кімнаті №204, корпусу №1. Схема кімнати представлена на рис. 5.1. Параметри робочої кімнати наведені нижче:

- розміри кімнати: ширина – 4 м, довжина – 5 м, висота – 3,7 м.
- розміри вікон: ширина – 2,7 м, висота 2,5 м.

Приміщення, в якому виконувалася НДР, має наступні установки:

1 – Муфельна піч; 2 – мікротвердомір ПМТ–3; 3 –вакуумна піч ; 4 – оптичний мікроскоп Olympus; 5 – стіл для інструментів.

Кімната, в якій працює троє чоловік має площу 20 м^2 , об'єм 74 м^3 . Площа, яка приходить на одну людину – 10 м^2 , об'єм $\sim 37 \text{ м}^3$. Згідно зі ДСанПін 3.32.007– 88 [51], на одну людину повинно приходитись не менше 6 м^2 площі та 20 м^3 об'єму, тому приміщення відповідає нормам.

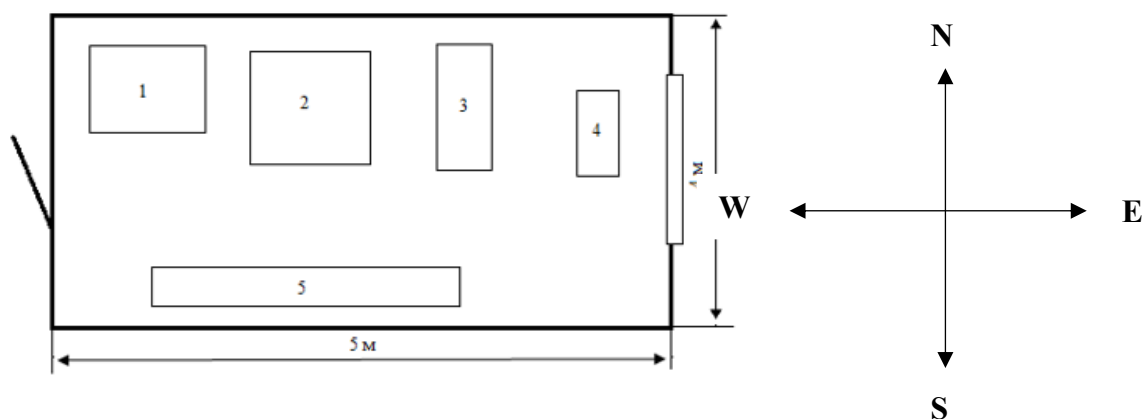


Рисунок 5.1 – Схема лабораторії в якій виконувалася науково–дослідницька робота

5.2 Аналіз мікроклімату приміщення

Для забезпечення оптимального мікроклімату “Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень” ДСН 3.3.6.042–99 встановлюють оптимальні і допустимі температуру, відносну вологість та швидкість руху повітря в робочій зоні в залежності від пори року та категорії важкості робіт [52].

Згідно ДСН 3.3.6.042–99 категорія важкості робіт – легка Іб. Ця категорія містить легкі фізичні роботи до 150 ккал/год, які супроводжуються деякою фізичною напругою та виконуються сидячи, стоячи і роботи пов’язані з ходьбою. Результати дослідження та нормовані величини параметрів мікроклімату в робочій зоні приміщення лабораторії №403 наведені в таблиці 5.1.

Згідно результатів, які наведені в таблиці 5.1 приміщення задовольняє норму.

Подавання припливного повітря треба здійснювати в робочу зону або у напрямку робочої зони. Температура повітря, що подається вентиляційними установками, повинна бути не нижче +20 °С згідно з ДСН 3.3.6.042–99 [53].

Таблиця 5.1– Мікроклімат лабораторії та ДСН 3.3.6.042–99

Категорія робіт	Параметр мікроклімату	Період року	Нормовані значення		Дані вимірювань	Висновок
			Оптимальне	Допустиме		
Легка 1 б	Температура, °С	Теплий	22–24	19–30	23	оптимально
		Холодний	21–23	17–25	25	допустимо
	Відносна вологість повітря, %	Теплий	40–60	60	45	оптимально
		Холодний	40–60	<75	55	оптимально
	Швидкість руху повітря, м/с	Теплий	0,2	0,1–0,3	0,2	оптимально
		Холодний	0,1	≤0,2	0,15	допустимо

5.3 Аналіз освітленості приміщення

Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути: природним, що створюється прямими сонячними променями та розсіяним світлом небосхилу; штучним, що створюється електричними джерелами світла, та суміщеним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним.

Природне і штучне освітлення в приміщеннях регламентується нормами ДБН В.2.5–28:2018 залежно від характеристики зорової роботи, найменшого розміру об'єкта розрізнення, розряду зорової роботи (I–VIII), системи освітлення, характеристики фону, контрасту об'єкта розрізнення з фоном.

Природне освітлення поділяється на: бокове (одно– або двостороннє), що здійснюється через світлові отвори (вікна) в зовнішніх стінах; верхнє – через ліхтарі та отвори в дахах і перекриттях; комбіноване – поєднання верхнього та бокового освітлення [58].

У лабораторії здійснюється природне бокове освітлення (вікно з північного боку). Відстань до місця основної роботи складає 2 м. Виконувати роботу можна

віднести до роботи високої точності (восьмий розряд зорових робіт), так як зразки не перевищують декількох міліметрів (3 мм – 5 мм).

Недостатня або надмірна освітленість, нерівномірність освітлення в полі зору втомлює очі, призводить до зниження продуктивності праці; при цьому зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. Надмірна яскравість джерел світла може спричинити головний біль, різь в очах, розлад гостроти зору; світлові відблиски – тимчасове засліплення [54].

—

5.4 Вимоги до організації робочого місця

Конструкція робочого місця користувача ПК має забезпечувати підтримання оптимальної робочої пози з такими ергономічними характеристиками: ступні ніг – на підлозі або на підставці для ніг; стегна – в горизонтальній площині; передпліччя – вертикально; лікті – під кутом 70° – 90° до вертикальної площини; зап'ястя зігнуті під кутом не більше 20° відносно горизонтальної площини, нахил голови – 15° – 20° відносно вертикальної площини [55].

Кут між поздовжніми осями основного та приставного столів має бути 90° – 140° . Висота робочої поверхні столу для ПК має бути в межах 680 мм–800 мм, а ширина – забезпечувати можливість виконання операцій в зоні досяжності моторного поля. Рекомендовані розміри столу: висота – 725 мм, ширина – 600 мм – 1400 мм, глибина – 800 мм–1000 мм [56].

Робочий стіл для ПК, як правило, має бути обладнаним підставкою для ніг шириною не менше 300 мм та глибиною не менше 400 мм, з можливістю регулювання по висоті в межах 150 мм та кута нахилу опорної поверхні – в межах 20° .

Організація робочого місця, де проводилась НДР, відповідає встановленим вимогам по ДСанПІН 3.3.2.007–98 [57].

5.5 Аналіз шуму та вібрації

Шум як фізичне явище – це коливання пружного середовища. Він характеризується звуковим тиском як функцією частоти та часу. З фізіологічної

точки зору шум визначається як відчуття, що сприймається органами слуху під час дії на них звукових хвиль у діапазоні частот 16 Гц –20 мГц. Загалом шум – це безладне поєднання звуків різної частоти та інтенсивності [58].

Під впливом шуму відбувається зниження слухової чутливості. Стійка втрата слуху настає через п'ять – вісім років роботи за умов, що характеризуються високими рівнями шуму. Найбільш ефективний засіб боротьби з шумом зниження його в джерелі створення: заміна шумних технологічних процесів або обладнання малошумними, звуковбирання та звукоізоляція, екранування, оснащення шумних машин засобами дистанційного та автоматичного управління, застосування засобів індивідуального захисту.

Граничні величини шуму на робочих місцях регламентуються ГОСТ 12.1.003–86. У ньому закладено принцип встановлення певних параметрів шуму, виходячи з класифікації приміщень за їх використанням для трудової діяльності різних видів ДСН 3.3.6.037–99 [59].

Вібрація – це механічні коливання пружних тіл або коливальні рухи механічних систем. Для людини вібрація є видом механічного впливу, який має негативні наслідки для організму.

До джерел технологічної вібрації відносяться, наприклад, верстати та метало–деревообробне, електричні машини, стаціонарні електричні установки, насосні агрегати та вентилятори та ін.

Дослідження проводилось на установці УПМ–1. Прилад складається з наступних основних вузлів: корпус приладу, в основу якого покладено стандартний прилад ПМТ–3, з вузлом навантаження і оптичною системою для прицільного нанесення відбитків, блок живлення електронних датчиків, привід навантаження, реєструючий двокоординатний самописець ПДС–О21М. Установка УПМ–1, яка не є джерелом шуму чи вібрації. Отже, рівень шуму в даному приміщенні задовольняють вимоги ДСН 3.3.6.037–99.

5.6 Виробниче випромінювання

Дані про виробничі випромінювання нормуються документом: Санітарні правила і норми «Гігієнічні вимоги до відеодисплейних терміналів і ПЕОМ і організації роботи» ДСанПіН 3.3.2–007–98 [60].

При роботі з ЕОМ, яка входить в устаткування, виникає небезпека впливу на організм робітника: невикористаного рентгенівського випромінювання, ультрафіолетового випромінювання, електростатичного поля.

Для попередження соматичних та генетичних наслідків для побутової радіоелектронної апаратури (РЕА) встановлені норми потужності експозиційної дози рентгенівського випромінювання, яке не повинно перевищувати $2,78 \cdot 10^{-12}$ мкР/с (100 мкР/год) в будь-якій точці на відстані 5 см від зовнішньої поверхні, яка обернена до оператора. Потужність експозиційної дози НРВ в будь-якій точці простору на відстані 0,05 м від корпусу установки не повинна перевищувати 0,07 мкР/с при робочому тижні 41 год. Враховуючи що робота більшою частиною проводиться за ЕОМ, запропоновано щоб час роботи за монітором не перевищував 4 години за зміну, з технологічними перервами.

5.6.1 Випромінювання від рентгенівського дифрактометра

Дослідження фазових та структурних перетворень в титанових сплавах проводилось методами рентгеноструктурного фазового аналізу на рентгенівському дифрактометрі PANanalytical, що знаходиться в лабораторії 211 на кафедрі фізики металів.

Рентгенівське випромінювання відноситься до електромагнітного випромінювання (фотонного), яке випромінюється при різкій зміні швидкості електрону. Рентгенівське випромінювання – короткохвильове електромагнітне випромінювання, довжина хвилі якого знаходиться в межах від 0,01 нм до 10 нм. Джерелом рентгенівського випромінювання в лабораторних пристроях є рентгенівська трубка. Випромінювання створюється при зіткненні електронів, що летять від вольфрамового катоду, з анодом. Прискорююча напруга в трубці складає 20 кВ – 50 кВ [55].

Рентгенівський дифрактометр є джерелом іонізуючого випромінювання. При закритих шторках вікон та без напруги на рентгенівській трубці дифрактометр є радіаційно–безпечним для обслуговуючого персоналу. Дифрактометр оснащений захисним склом, що містить солі свинцю, яке поглинає рентгенівське випромінювання. Радіаційний захист персоналу повинен бути організований таким чином, що між працівником та вихідним вікном рентгенівської трубки завжди знаходився захисний екран [55]. Усі працюючі на дифрактометрі, як і на інших рентгенівських апаратах, повинні в обов'язковому порядку пройти інструктаж з техніки безпеки, який здійснює офіційно затверджений для цього фахівець [55], в 211– це Тітенко А.М. Важливим вражаючим фактором іонізуючого випромінювання є іонізація молекул повітря, мікрочастинок та пилу. Потрапляння іонізованих частинок в організм людини може завдати шкоду здоров'ю. Забезпечення безпечних умов праці досягається шляхом використання захисних пристроїв, організацією необхідних організаційно–технічних заходів та суворим виконанням правил техніки безпеки. Організаційно–технічні заходи включають раціонально розташування апаратури та допоміжних пристроїв. Для забезпечення належного захисту працівників від опромінення в залежності від конструкції апаратури та особливостей досліджуваних зразків необхідно проведення наступних заходів:

- визначення за допомогою дозиметрів безпечних зон і зон підвищеної небезпеки біля апарату,
- дозиметричний контроль,
- складання робочих інструкцій і правил техніки безпеки,
- заходи щодо ліквідації аварійної обстановки,
- спеціальне навчання і профогляди.

Робота на апаратах з відключеними або знятими захисними пристроями суворо заборонено [55].

5.7 Електронебезпека

Кімната № 204, в якій проводилася науково–дослідницька робота відносять до приміщення без підвищеної небезпеки [60]. Електричні прилади живляться напругою 220 В (комп'ютери) зі змінним струмом та частотою 50 Гц.

На дію електричного ураження впливає ряд факторів: величина струму (1 мА), рід струму (струм змінний), частота струму (50 Гц), шлях струму в організмі, тривалість дії струму, стан організму, виробниче середовище.

При розробці захисних заходів, вважають небезпечним струм у 25 мА, при якому важко самотійно відірватись від провідника, а струм величиною 100 мА може призвести до смертельного наслідку.

Проходячи скрізь людину, електричний струм здійснює термічний, електролітичний та біологічний вплив. Термічний вплив проявляється в опіках окремих частин тіла, пошкодження судин, нервів та інших тканин. Електролітичний вплив проявляється в розкладенні крові та інших органічних рідин, в результаті чого виникає значне порушення їх фізико–хімічного складу. Біологічний вплив проявляється як особливий специфічний процес, який властивий лише живій тканині: подразнення та збудження живих тканин організму, що супроводжується невимушеним скороченням м'язів; порушення внутрішніх біоелектричних процесів.

Вимоги до виконання захисного заземлення на всіх видах електричного обладнання мають відповідати вимогам ПУЕ–2017 [20]. Гранично допустимі рівні напруги дотику та струмів, що можуть виникати на електричному обладнанні, мають відповідати вимогам [61].

Допуск осіб до виконання електродугового та плазмового напилювання повинен здійснюватися після їх ознайомлення з технічною документацією і проведення інструктажу з експлуатації обладнання та охорони праці.

Не дозволяється провадити ремонт електричного обладнання, що знаходиться під напругою.

Електричне обладнання повинно регулярно перед початком роботи (кожної зміни) підлягати перевірці на відсутність замикання, оголених струмоведучих

частин, справність ізоляції, цілісність проводів та кабелів живлення, а також справність пристроїв (компонентів) систем безпеки праці (блокувальних пристроїв тощо) [62].

У лабораторії, де проводилися дослідження, правильно виконане захисне заземлення корпусів, електроустаткування і приладів. Розташування робочих місць таке, що виключається можливість одночасного доторкання до корпусів, електроустаткування і приладів [63].

Небезпека ураження електричним струмом зростає зі збільшенням тривалості його дії на організм. Характер ураження залежить від шляхів проходження електричного струму через тіло людини. Чим більший цей шлях і чим ближче коло, яке утворилося, до життєво важливих органів, тим важчий наслідок ураження людини електричним струмом. Найбільш небезпечне для людини: поздовжнє (від руки до руки) та поперечне (від руки до ноги) проходження струму через її тіло. Схема ввімкнення людини в електричне коло визначає важкість ураження її струмом. Двофазний дотик найнебезпечніший, оскільки до тіла людини прикладається найбільша можлива в даній мережі напруга – лінійна (звичайно 380 В). У цьому випадку наявність надійної ізоляції від землі не зменшує небезпеку ураження людини електричним струмом. Однофазний дотик менш небезпечний, ніж двофазний, оскільки напруга, під яку потрапляє людина, не перевищує фазної, тобто менша за лінійну в 1,73 рази (зазвичай 220 В). Відповідно меншим виявляється струм, що проходить через людину. На величину цього струму впливає режим нейтралі джерела живлення, опір підлоги, на якій стоїть людина, опір її взуття та деякі інші фактори.

Виробниче обладнання, що застосовується в технологічних процесах, повинно відповідати загальним вимогам державного нормативного акту з охорони праці ДНАОП 0.00–1.21–98 [63].

5.8 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

До видів небезпеки, що можуть статися на виробництві, належать: пожежа; вибух (усередині обладнання, будівлях або навколишньому середовищі); розрив або зруйнування обладнання; викид шкідливих речовин; сполучення перелічених видів небезпеки [61]. З метою запобігання виникненню та ліквідації надзвичайних (аварійних) ситуацій на підприємстві має бути план локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій у відповідності до положення [62]. Під час аналізу небезпеки підприємства (об'єкта) потрібно визначити всі можливі аварійні ситуації і аварії, в тому числі й малоймовірні, з катастрофічними наслідками, які можуть виникати на підприємстві, розглянути сценарії їхнього розвитку і оцінити наслідки. Виявлення можливостей і умов виникнення аварій має виконуватись на основі аналізу особливостей роботи як окремого обладнання (апаратів, машин тощо), так і їх групи (технологічних блоків), а також з урахуванням небезпечних властивостей речовин і матеріалів (вибухонебезпечних та шкідливих), що використовуються у виробництві. При цьому слід враховувати параметри стану речовин (температура, тиск, агрегатний стан тощо) і стан обладнання, які відповідають як нормальному технологічному режиму, так і режимам, які можливі при настанні й розвитку аварії.

5.8.1 Пожежна безпека

Проаналізуємо імовірність виникнення пожежі в приміщенні та засобів її запобігання.

Пожежа відноситься до 1 класу надзвичайних ситуацій (ситуацій техногенного характеру).

Згідно з ОНТП24–86 приміщення лабораторії 204 за пожежонебезпекою відноситься до категорії “В” (В лабораторії є горючі та важкогорючі рідини, також тверді горючі та важкогорючі речовини. Приміщення, в якому вони знаходяться, не відносяться до категорії А або Б) [63].

У випадку пожежі у лабораторії може горіти:

- електроустановки та їхня проводка;
- паркет та штори;

- шафи та паперові документи, що знаходяться в них.
- Виникнення пожеж у лабораторії можливо за наступними причинами:
- порушення технологічного режиму;
- несправність електроустаткування;
- ремонт устаткування на ходу;
- неправильне користування устаткуванням.

Для гасіння полум'я на електроустановці, що знаходиться під наругою необхідно використовувати вуглекислотний чи вуглекислотно брометилловий вогнегасник.

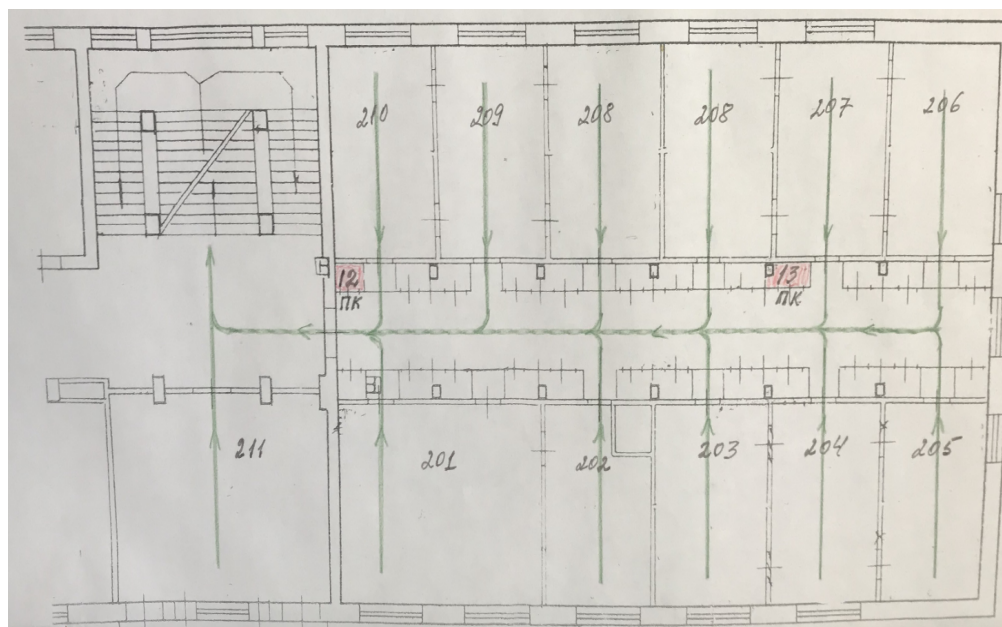


Рисунок 5.2 – План евакуації

На поверсі є вогнегасники ОУБ-2 (вуглекислотно-брометилловий), які необхідно застосовувати при виникненні пожежі чи відкритого вогню. Напруга пристроїв які знаходяться в кімнаті працюють з напругою нижче, ніж 1000В, тому вогнегасники цих типів можна використовувати. Засобами виявлення й оповіщення про пожежу є автоматичні датчики-сигналізатори про пожежу типу ДТП, що реагують на підвищення температури. Засобом оповіщення співробітників про

пожежу служить внутрішній службовий зв'язок. На випадок пожежі є план евакуації працівників з будівлі.

5.8.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пробою електричної напруги на корпус електродугового агрегату необхідно відключити рубильник і довести до відома про це майстра або начальника дільниці.

У випадку потрапляння кого–небудь під напругу, необхідно відключити електродуговий агрегат від мережі, покласти потерпілого на дерев'яний настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, зробити постраждалому штучне дихання.

У випадку загорання електродугового агрегату необхідно відключити рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника.

Кожен робітник і службовець, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний:

- негайно сповістити про це в заводську пожежну охорону за телефоном 101;
- приступити до гасіння вогню пожежі наявними в цеху (на дільниці) засобами пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран тощо);
- викликати до місця пожежі посадових осіб (начальника цеху, дільниці).

У випадку одержання травми необхідно довести до відома про це майстра, начальника дільниці та звернутися в медпункт.

5.9 Висновки до розділу 5

На основі вище зазначеного можна зробити висновок, що мікроклімат, організація робочого місця, освітлення в лабораторії відповідають вимогам санітарних норм. А рівень шуму, вібрацій та випромінювання не перевищує допустимих норм.

ВИСНОВКИ

В результаті комплексних досліджень нової потрійної системи сплавів $\text{Ti}-12\%\text{Mo}-x\text{Sn}$ ($x = 1-8\%$) встановлені наступні закономірності деформаційного поведінки сплавів при одновісному розтягу, серед яких найбільш важливими є:

1. Оптимальне поєднання механічних властивостей в умовах одновісного розтягу демонструє сплав наступного складу $\text{Ti}-12\%\text{Mo}-2\%\text{Sn}$, для якого при однаковій термомеханічній обробці отримані максимальне значення границі текучості 600 МПа і тимчасової міцності 1130 МПа при високих значеннях швидкості деформаційного зміцнення 1600 МПа, пластичності 40 % і модуля пружності. Отримані механічні характеристики цього сплаву істотно перевершують за показниками міцності і пластичності механічні характеристики бінарного $\text{Ti}-12\%\text{Mo}$ сплаву, що робить цей склад сплаву потенційно придатним для застосування в різних призначеннях.

2. Встановлено, що висока пластичність з високою швидкістю деформаційного зміцнення, властива потрійним сплавам $\text{Ti}-12\%\text{Mo}-x\text{Sn}$ з концентрацією олова в діапазоні (1–6) % досягається завдяки одночасному протіканню процесів індукції мартенситу деформації з трансформацією ОЦК в орторомбічну ґратку з переважанням TRIP механізму і двійникування при реалізації TWIP ефекту в полі одного розтягування напруги. Підвищення змісту олова понад 6 % викликає зміну механізму деформування, що приводить до крихкого руйнування в результаті дислокаційного ковзання.

3. Зробивши порівняльний аналіз характеристики даного виду послуг можна зробити висновок, що вона без сумніву є потенційно успішною. Тому, що впроваджений тип послуг є вигідним, унікальним, багатогалузевим, дешевим та доступним.

Встановлені перешкоди, що можуть негативно вплинути на впровадження даного стартапу проекту можуть бути наявні ринкові конкуренти, перебої поставок матеріалу, недостатнє фінансування, погане місцезнаходження підприємства, застосування аналогічних технологій конкурентами та інші. В загальному, цей

стартап – проекту має переваги над конкурентами, тому має можливості для його подальшого впровадження на ринку і розширення.

4. На основі вище зазначеного можна зробити висновок, що мікроклімат, організація робочого місця, освітлення в лабораторії відповідають вимогам санітарних норм. А рівень шуму, вібрацій та випромінювання не перевищує допустимих норм.

CONCLUSION

As a result of complex studies of the new triple system of Ti – 12% Mo – xSn alloys ($x = 1\text{--}8\%$), the following regularities of deformation behavior of the alloys at uniaxial tensile have been established, among which the most important are:

1. The optimum combination of mechanical properties in the conditions of uniaxial tensile demonstrates an alloy of the following composition Ti – 12% Mo – 2% Sn, for which with the same thermomechanical treatment the maximum value of the yield strength of 600 MPa and the temporal strength of 1130 MPa at high values of the strain rate of 1600 MP are obtained. , plasticity of 40 % and modulus of elasticity. The obtained mechanical characteristics of this alloy are significantly superior in terms of strength and ductility mechanical characteristics of the binary Ti – 12 % Mo alloy, which makes this alloy composition potentially suitable for use in various applications.

2. It is established that high plasticity with high rate of deformation hardening inherent in ternary Ti – 12% Mo – xSn alloys with tin concentration in the range of (1– 6) % is achieved due to the simultaneous flow of deformation martensite induction with transformation of BCC into an orthorhombic lattice with a predominance of TRIP and twinning when implementing the TWIP effect in the field of single voltage stretching. Increasing the content of tin by more than 6 % causes a change in the deformation mechanism, which leads to brittle fracture as a result of dislocation sliding.

3. Having made a comparative analysis of the characteristics of this type of service, we can conclude that it is without doubt potentially successful. Because the implemented type of service is profitable, unique, multi-sectoral, cheap and affordable.

Obstacles that may adversely affect the implementation of this project may be market competitors, disruptions in material supply, underfunding, poor location, the use of similar technologies by competitors and others. In general, this startup project has advantages over its competitors, so it has opportunities for its further market introduction and expansion.

4. Based on the above, we can conclude that the microclimate, organization of workplace, lighting in the laboratory meet the requirements of sanitary standards. And the noise, vibration and radiation levels do not exceed the limits.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Froes F. H. The Beta Titanium Alloys / F. H. Froes, H. B. Bomberger // J. Metals. – 1985. – July. – P. 28–32.
2. Титановые сплавы в сварных конструкциях и производстве авиадвигателей и авиационно–космической технике /Б. А. Колачев, Ю. С. Елисеев, А. Г. Братухин [и др.]. – М.: Издательство МАИ, 2001. – 416 с.
3. *TITANIUM* 2008: development of international titanium industry, preparation technology and applications / B. Liu, Y. B. Liu, X. Yang, Y. Liu // Mater. Sci. Eng. Pow. Metall. – 2008. – 14(2). – P. 67–73.
4. Титановые сплавы в сварных конструкциях и производстве авиадвигателей и авиационно–космической технике / Б. А. Колачев, Ю. С. Елисеев, А. Г. Братухин [и др.]. –М.: Издательство МАИ, 2001. – 416 с.
5. Хорев А. И. Влияние комплексного легирования на механические свойства сварных соединений и основного металла ($\alpha + \beta$)– и β –титановых сплавов / А. И. Хорев // Технология машиностроения. – 2007. – № 2. – С. 29–34.
6. Хорев А. И. Разработка титанового сплава методом комплексного легирования / А. И. Хорев // Физико–химическая механика материалов. – 2006. – 42, № 5. – С. 45–50.,
7. Хорев А. И. Создание теории комплексного легирования и разработка титанового сплава BT23 универсального применения / А. И. Хорев // Вестник машиностроения. – 2006. – № 9. – С. 40–46.
8. Горелик С.С. Рентгенографический и электронно–оптический анализ: [учеб. пособие для вузов] / С.С. Горелик , Ю.А. Скаков, Л.Н. Расторгуев. –М.: МИСИС, 1994. – 328 с.
9. Носова Г.И. Фазовые превращения в сплавах титана/ Г.И. Носова – М. Металлургия, –1999. – 28 с
10. Цвиккер У. Титан и его сплавы/ У Цвиккер– М. Металлография, 1979 – 511 с.
11. Локшин Ф.Л.Особенности фазовых превращений в титановых сплавах/ Ф.Л Локшин: Автореферат дис. докт. техн. наук– М. : 1972 – 39с.

12. Ермолова М.И. Исследование фазовых и структурных превращений в двухфазных промышленных титановых сплавах.– В кн. Титановые сплавы для новой техники/ М.И. Ермолова, Э.В. Поляк, О.П. Солонина – М. Наука, 1969, с.145–154.
13. Leyens C. Titanium and titanium alloys. Fundamentals and applications / C. Leyens, M. Peters. – Wiley–VCH, Germany, 2003. – 513 p.
14. Хорев А.И. Фундаментальные и прикладные работы по конструкционным титановым сплавам и перспективные направления их развития / А. И. Хорев // Технология машиностроения. – 2014. – № 11. – С. 5–10.
15. Studies of phase relations and transformation processes in Ti–alloys / Rotoker W., McPherson D.J. // WADC Report 54– 101 (Okt. 1954)
16. Матеріалознавство: підручник / В.І. Абрамова, Сергєєв М.М., Сергєєв А.Н., Євтушенко Н.А. – Тула: Изд–во ТулГУ, 2015. – 238 с.
17. Titanium and titanium alloys / C. Leyens, M. Peters // Wiley Online Library, 2003.
18. Karasevskaya O., Mater. Sci. Eng. A / O. Karasevskaya O. Ivasishin, S. Semiatin, Y.V. Matviychuk // 354 (2003) 121–132.
19. Czerwinski F. Heat Treatment: Conventional and Novel Applications / F. Czerwinski – InTech, 2012. – 408 p.
20. O.M. Ivasishin, P.E. Markovsky, S.L. Semiatin, C.H. Ward, Mater. Sci. Eng. A 405 (2005) 296–305.
21. Гриднев В.Н. Физические основы скоростного термоупрочнения титановых сплавов / В.Н. Гриднев О.М. Ивасишин, С.П. Ошкадеров // – Киев: Наук. думка. (1986) – 256 с.
22. Ивасишин О.М. Метастабильные состояния, формирующие в титановых сплавах в процессе их термоупрочнения с использованием эффекта неполной гомогенизации раздел 9 в кн. /О.М. Ивасишин В.Н. Гриднев, В.И.Трефилов, // – Киев: Наук. думка. (1988) – 264 с.

23. Ivasishin O. M. Nanostructured layers and coating formed by ion–plasma fluxes in titanium alloys and steels/ O. M. Ivasishin, A. D. Pogrebnjak, S. N. Bratushka. // – Kyiv : Akademperiodyka, 2011. – 285 p.
24. H. Liu, M. Niinomi, M. Nakai, J. Hieda, K. Cho Changeable Young's modulus with large elongation–to–failure in β –type titanium alloys for spinal fixation applications *Scripta Mater.*, 82 (2014), pp. 29–32
25. Стасовская В.В. Исследование твердости, хрупкости и абразивной способности порошков тугоплавких соединений: Автореферат канд. дис. – Киев, 1967.–24 с.
26. P. Majumdar, S.B. Singh, M. Chakraborty Elastic modulus of biomedical titanium alloys by nano–indentation and ultrasonic techniques—a comparative study *Mater. Sci. Eng. A*, 489 (2008), pp. 419–425 J.B. Brunski, B.D. Ratner, A.S. Hoffman, F.J. Schoen, J.E. Lemons *Biomaterials Science – An Introduction to Materials in Medicine* /– Elsevier Academic Press, San Diego, 497 (2004)
27. М.Б. Бабанлы Быстрозакаленные сплавы / М.Б. Бабанлы – Монография. Издательство «ЭЛМ», Баку (2004),
28. Бабанлы М.Б. Сплавы с эффектом памяти формы / М.Б. Бабанлы – Монография. Издательство «ЭЛМ», Баку (2006), 280с М.В.
29. M.J. Lai, C.C. Tasan, J. Zhang, B. Grabowski, L.F. Huang, D. Raabe Origin of shear induced β to ω transition in Ti–Nb–based alloys *Acta Mater.*, 92 (2015), pp. 55–63
30. F. Sun, T. Gloriant, P. Vermaut, P. Jacques and F. Prima // *Solid State Phenomena* V.172–174 129 (2011)
31. D.M. Gordin, E. Delvat, R. Chelariu, G. Ungureanu, M. Besse, D. Laille, T. Gloriant // *Adv. Eng. Mater* – 10 714 (2008)
32. M. Marteleur, F. Sun, T. Gloriant, P. Vermaut, P.J. Jacques, F. Prima // *Scripta Mater*– 66 749 (2012) doi: 10.1016/j.matpr.2015.07.336
33. X.H. Min, K. Tsuzaki, S. Emura, T. Sawaguchi, S. Ii, K. Tsuchiya Tsuchiya, {332} <113> Twinning system selection in a β –type Ti–15Mo–5Zr polycrystalline alloy *Mater. Sci. Eng. A*, 579 (2013), pp. 164–169

34. F. Sun, J.Y. Zhang, M. Marteleur, T. Gloriant, P. Vermaut, D. Laille, P. Castany, C. Curfs, P.J. Jacques, F. Prima // *Acta Mater* – **61**, 6406 (2013)
35. H. Zhan, G. Wang, D. Kent, M. Dargusch The dynamic response of a metastable β Ti–Nb alloy to high strain rates at room and elevated temperatures *Acta Mater.*, 105 (2016), pp. 104–113 O.P. Karasevskaya, O.M. Ivasishin, S.L. Semiatin, Yu.V. Matviychuk // *Materials Science and Engineering A. M* – **354**. 121 (2003)
36. T. Grosdidier, C. Roubaud, M.J. Philippe, Y. Combres The deformation mechanisms in the β –metastable β –cez titanium alloy *Scripta Mater.*, 36 (1997), pp. 21–28 O. Bouaziz, N. Guelton // *Mater. Sci. Eng. – A* **319**, 321 246 (2001)
37. L.F. Huang, B. Grabowski, J. Zhang, M.J. Lai, C.C. Tasan, S. Sandlöbes, D. Raabe, J. Neugebauer From electronic structure to phase diagrams: a bottom–up approach to understand the stability of titanium–transition metal alloys *Acta Mater.*, 113 (2016), pp. 311–319 T. Yao, K. Du, H. Wang, Z. Huang, C. Li, L. Li, Y. Hao, R. Yang, H. Ye // *Acta Mater* – **133** 21 (2017)
38. E. Bertrand, P. Castany, I. Péron, T. Gloriant Twinning system selection in a metastable β –titanium alloy by Schmid factor analysis *Scripta Mater.*, 64 (2011), pp. 1110–1113 M. Ahmed, D. Wexler, G. Casillas, D.G. Savvakina, E.V. Pereloma // *Acta Mater.* – **104** 190 (2016)
39. H. Liu, M. Niinomi, M. Nakai, J. Hieda, K. Cho, Changeable // *Scripta Mater.* – **82** 29 (2014)
40. X. Min, X. Chen, S. Emura, K. Tsuchiya // *Scripta Mater.* – **69** 393 (2013)
41. X.H. Min, S. Emura, T. Nishimura, K. Tsuchiya, K. Tsuzaki // *Mater. Sci. Eng.: A* – **527** 5499 (2010)
42. J. Zhao, H. Duan, H. Li, *Rare Metal Materials and Engineering.* // **39**(10). 1707 (2010) S. Nag, R. Banerjee, J. Stechschulte, H.L. Fraser, // *Journal of materials science: materials in medicine.* **16**. 679 (2005)
43. Weiss, S.L. Semiatin, *Materials Science and Engineering A.* // **243** 46 (1998)
44. Современное состояние и развитие стартапов / Л.Т. Безрукова, Ю.Н. Степанова, И.И. Шанин, Ю.В. Дуракова // *Успехи современного естествознания. Экономические науки.* – №1, 2015. – С. 95–97.

45. Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016). <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/80084/75643>.
46. Современное состояние и развитие стартапов / Л.Т. Безрукова, Ю.Н. Степанова, И.И. Шанин, Ю.В. Дуракова // Успехи современного естествознания. Экономические науки. – №1, 2015. – С. 95–97.
47. Луника М. Н. Упрочнение поверхности стали карбидами титана и хрома / М. Н. Луника // Металловведение и термическая обработка металлов, 1993. – № 2. – С. 18–20.
48. Харниш В. Правила прибыльных стартапов : как расти и зарабатывать деньги / В. Харниш ; пер. с англ. В. Хозинского. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2012. – 279 с.
49. Graham P. Hackers and Painters: Big Ideas from the Computer Age / P. Graham – Gravenstein Highway North, Sebastopol: O'Reilly Media Inc., 2004. – P. 258. – URL: <http://paulgraham.com/wealth.html>;
50. Чеберко Е.Ф. Проблемы теории и практики предпринимательства / Е.Ф. Чеберко В.А. Казаков // Проблемы современной экономики. –2012. – № 3 (43). – с. 128–132. – URL: <http://www.m-economy.ru/art.php2nArtId=4188>.
51. Охорона праці [Електронний ресурс] – https://uk.wikipedia.org/wiki/Охорона_праці.
52. Трудове законодавство про персонал [Електронний ресурс] – http://pidruchniki.com/18340719/menedzhment/trudove_zakonodavstvo_pro_personal.
53. Основи охорони праці: Підручник / [К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний та ін.]. – Київ: Основа, 2006. – 448 с.
54. Строительные нормы и правила. Административные и бытовые здания: СНиП 2.09.04–87.
55. Желібо Є.П., Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів освіти України I–IV рівнів акредитації/ Є.П.Желібо, Н.М.Заверуха, В.В.Зацарний – Київ: «Каравела». – 2001. – 320 с.

56. Инструкция «Рекомендации по нанесению износостойких покрытий на инструмент из быстрорежущей стали на установке «Булат 21М». – Харьков: Укроргстанкинпром, 1981. – 23 с.
57. Катренко Л. А. Охорона праці в галузі освіти / Л. А Катренко, І. П. Пістун – К.: Університетська книга; Суми, 2001. – 340 с
58. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці / В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников. – Львів: Афіша, 2000. – 348 с.
59. ДСН 3.3.6.037–99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
60. Санитарные правила работы с источниками неиспользуемого рентгеновского излучения: СП 1960–79.
61. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность: ГОСТ 12.1.009–76.
62. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості і небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу Ц Охорона праці. –1998. – № 6.
63. Пожежна безпека [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://pidruchniki.com/1373051938220/bzhd/pozhezhna_bezpeka.
64. Дмитрієв С. Л. Основи пожежної безпеки / С. Л. Дмитрієв, С. В. Нестеренко. – Харків: ХНАМГ, 2008. – 64 с.